

**DIAGNÓSTICO DE INTERVENCIONES FÍSICAS E INDAGACIÓN SOBRE
ESFUERZOS PARA LA RESTAURACIÓN EN UN RÍO COLOMBIANO, CASO
RÍO BOGOTÁ**

LAURA VELÁSQUEZ ARIAS

Trabajo de grado para optar por el título de Ecóloga

ABRAHAM I. KORMAN KESTENBERG
Director



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES
CARRERA DE ECOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.
2017**

CONTENIDO

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivos.....	6
4. Marco de referencia	
4.1 Marco conceptual.....	7
4.1.1 <i>Perturbaciones en ríos y corrientes: escenario mundial.....</i>	7
4.1.2 <i>Importancia de la geomorfología de los ríos.....</i>	8
4.1.3 <i>Breve historia de la formación del Río Bogotá y sus características físicas y ambientales.....</i>	9
4.2 Antecedentes.....	10
5. Área de estudio.....	13
6. Materiales y métodos	
6.1 Diagrama de flujo.....	15
6.2 Diseño del estudio.....	15
6.3 Métodos de recolección de datos.....	16
6.4 Métodos de análisis de los datos.....	17
7. Resultados	
7.1 Recopilación de intervenciones.....	19
7.2 Clasificación de impactos.....	21
7.3 Acciones para la restauración.....	27
7.4 Esfuerzos necesarios para la restauración de la cuenca.....	31
8. Discusión.....	35
9. Conclusiones y recomendaciones.....	39
10. Referencias citadas.....	41

ANEXOS

Anexo 1. Huellas y esquema de camellones usados por Muiscas.....	46
Anexo 2. Imágenes de referencia de las intervenciones identificadas.....	47
Anexo 3. Otras intervenciones.....	52

1. Resumen

Este documento aporta al debate continuo sobre los factores que degradan los ríos, haciendo énfasis en el caso del río Bogotá. Una de las problemáticas más antiguas que este ha generado son las inundaciones, para lo cual se han empleado, desde la época de La Colonia hasta ahora, estrategias focalizadas en contener el desbordamiento. Sin embargo, los estudios de recuperación se han centrado principalmente en la calidad del agua, dejando de lado los cambios y perturbaciones en la morfología del cauce, el ecosistema, sus afluentes y la cuenca. El estudio de la forma de los ríos y su perturbación es vital para el conocimiento de las características físicas y las dinámicas de los mismos, por lo que resulta de gran importancia indagar sobre los impactos que pueden ser ocasionados por intervenciones sobre el cauce de los mismos, en este caso sobre el río Bogotá. El presente proyecto tuvo como objetivo identificar intervenciones físicas/geomorfológicas que ha sufrido el Río Bogotá con el fin de complementar los esfuerzos necesarios para su restauración y proponer recomendaciones iniciales para el desarrollo de una iniciativa. Primero se desarrolló una revisión bibliográfica y unas entrevistas con el fin de obtener información sobre las intervenciones, principales impactos y las acciones necesarias para la elaboración de un plan de restauración fluvial. Luego, en la etapa de análisis, se identificaron un total de doce intervenciones, de las cuales tres causan mayor número de impactos. También se encontró que de once impactos ocasionados por dichas intervenciones, dos resultan ser los más repetitivos y de las dieciocho acciones para la restauración recopilados a través de la revisión de diferentes estudios, siete de estas fueron identificadas como de mayor relevancia. Finalmente, se sintetizó dicha información y se obtuvo una propuesta de siete acciones centrales con recomendaciones dirigidas específicamente a la implementación de estrategias orientadas a la restauración de procesos morfodinámicos sobre la cuenca del Río Bogotá, que faciliten una recuperación integral del río. Se esbozó una metodología empírica para la implementación de un plan sobre la cuenca del río, en el que prime la restauración fluvial sobre la rehabilitación, haciendo énfasis en cómo los impactos físicos han tenido y siguen teniendo un muy fuerte impacto sobre las características ecológicas del ecosistema fluvial de este río, ya que éstos no son tenidos en cuenta en la planeación y elaboración de los proyectos realizados hasta el momento. Se llama la atención en la necesidad de lograr interacción entre profesionales de ingeniería y de ciencias biológicas, ambientales y sociales para lograr consolidar proyectos de desarrollo urbano que sean menos agresivos donde se involucren ríos. La comunicación de los proyectos a la ciudadanía es de suprema importancia, ya que esto podría contribuir a visibilizar su presencia y mejorar la relación con los ríos que cruzan por sus ciudades y que sufren impactos tan importantes como aquellos que son intervenidos para otros proyectos que busquen el desarrollo de las ciudades.

2. Introducción

Los ríos y sus cuencas tienen una importancia estratégica para la biodiversidad del planeta, la sociedad y las dinámicas geológicas; éstos crean y destruyen formas y hábitats distintos a través de la erosión, la deposición de sedimentos o una combinación de ambos (Padmalal & Maya 2014). Lo anterior hace que las características geológicas y el clima sean factores clave que expliquen las diferencias entre ríos de distintas latitudes y biomas (Allan & Castillo 2007). Son ecosistemas dinámicos, complejos e integradores, con múltiples conexiones con otros ecosistemas terrestres y acuáticos, y hacen parte de procesos ecológicos, bioquímicos y geomorfológicos, ya que funcionan como transporte de sedimentos y organismos, esculpen la superficie de la tierra, filtran sales y minerales para los suelos, constituyen la principal fuente de agua para el consumo humano y el riego, entre otras funciones (Dudgeon 2008; Acuña *et al.* 2009; Encalada 2010; Padmalal & Maya 2014). Además, los ríos de las regiones tropicales y sus llanuras aluviales son especialmente valiosos, debido a que conforman los ecosistemas más productivos a nivel global (Dudgeon 2008).

Históricamente los seres humanos nos hemos sentido atraídos hacia los ecosistemas ribereños y los hemos utilizado como recursos indispensables para nuestro desarrollo, obteniendo grandes beneficios económicos (Allan & Castillo 2007; Encalada 2010), ya que estos nos brindan múltiples servicios como la pesca, el suministro de agua potable, el transporte, la energía hidroeléctrica, la facilitación de la agricultura, entre otros (Acuña *et al.* 2009). Sin embargo, en muchos casos, este aprovechamiento lo hemos hecho sin entender cómo funcionan y mantienen su vitalidad los sistemas fluviales y, por el contrario, hemos actuado de forma defensiva ante las dinámicas “salvajes” de los ríos. Es por lo anterior, y con el fin de poder realizar actividades de manera más eficiente, que los humanos hemos perturbado y transformado los ecosistemas ribereños, alterando, rectificado y desviando los cauces, creando espacio para el desarrollo de la tierra, el transporte terrestre y fluvial, instalando infraestructura para el control de inundaciones, propiciando así el aumento del drenaje del agua en la tierra y la reducción de las llanuras de inundación y el ecosistema ripario para usos agropecuarios o urbanos, lo que ha creado conflictos sociales y ha ocasionado problemas ecológicos por la fragmentación de la continuidad de los ecosistemas ribereños (Hauer & Lamberti 2007; Acuña *et al.* 2009; Encalada 2010; The river restoration centre 2013; Padmalal & Maya 2014). De maneras tanto sutiles como muy evidentes, casi todas las aguas corrientes muestran hoy en día alguna evidencia de modificación debido a las actividades humanas (Allan & Castillo 2007).

Canalizaciones, represas, rectificación de canales, construcción de carreteras, expansión urbana, degradación de bosque ripario, entre otras perturbaciones que sufren los ríos de todo el mundo han sido documentadas debido a la pérdida de

auto sostenibilidad, pérdida de llanuras de inundación, pérdida de régimen de los caudales y degradación de bienes y servicios que prestan los ríos a las sociedades humanas (Palmer *et al.* 2005; Encalada 2010; The river restoration centre 2013; Addy *et al.* 2016).

Los cuatro componentes que determinan la integridad ecosistémica de los ríos son: biología, hidrología, calidad de agua (integridad fisicoquímica) y morfología. Estos están conectados y es necesario que se consideren en su totalidad al momento de plantear estrategias de restauración, ya que, por ejemplo, la restauración física del hábitat de los ríos tendrá un beneficio biológico reducido si los problemas de calidad del agua permanecen, o si el río está sobre-abstraído (Mainstone & Holmes 2010; Addy *et al.* 2016). La forma de los ríos es crucial debido a que permite crear un hábitat físico dinámico, autosostenible y característico que induce una actividad biológica específica y además de que restaura los beneficios que los animales, plantas y seres humanos necesitan (Addy *et al.* 2016); es por esto que el estudio de los cambios del canal natural y su estructura morfológica es de gran importancia debido a que el hábitat ribereño incluye áreas acuáticas y terrestres, donde cualquier cambio en el canal, ocasionado por factores antropogénicos o climáticos, tiene como consecuencia un impacto en otras variables como la cobertura vegetal, la diversidad de especies animales, los tipos de sedimento, entre otros que afectan la dinámica de los ríos y finalmente tendrán consecuencias sobre la calidad del agua y otras variables de importancia (Vanlooy & Martin 2005; Addy *et al.* 2016). Sin embargo, históricamente los esfuerzos por recuperar los ríos se han enfocado principalmente en mejorar la calidad y el suministro de agua para las poblaciones y otras actividades económicas (Encalada 2010) y hasta hace relativamente poco se comenzaron a realizar esfuerzos por la recuperación de las características físicas y ambientales de los ríos y sus cuencas con el objetivo de restaurarlos (Allan 2004; Zhu *et al.* 2015).

Para el caso específico del río Bogotá, una de sus problemáticas más antiguas y que sigue teniendo vigencia hoy en día son las inundaciones (CAR 2012a). Esto debido a la vulnerabilidad de una gran parte de las zonas norte de la sabana de Bogotá (después del puente del común) y sur (localidades de Fontibón, Funza y Mosquera) de la sabana por ser más bajas y anchas que el resto de la cuenca, reuniendo varios afluentes y creando zonas inundables durante épocas de lluvia (Van der Hammen 1998; Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Conservación Internacional - Colombia 2003; CAR 2012a). Desde la conquista, los españoles han empleado estrategias para contener la amenaza de desbordamiento que generan las crecientes del río y sus afluentes en dichas épocas de lluvia, construyendo puentes y formando jarillones (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968; Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca 1985). Hoy en día las estrategias siguen estando enfocadas en la contención del caudal del río para prevenir grandes desastres, sobre todo en el área urbana que limita con el río (CAR 2012a). Sin embargo, los estudios sobre el Río Bogotá y su recuperación se han centrado en

la degeneración de la calidad del agua y la contaminación del río (DAMA 2004, 2005; ECOFOREST LTDA 2005; CAR 2012a; b), y poco se ha indagado sobre el cambio morfológico y las perturbaciones de su canal y ecosistemas aledaños, ocasionados por las grandes transformaciones a su alrededor, y aún menos sobre las estrategias que podrían funcionar para restaurar sus funciones ecológicas.

Este proyecto nació con la intención de documentar las intervenciones físicas apreciables que hoy en día existen sobre las cuencas de los ríos andinos en Colombia, pero por facilidad de acceso, el trabajo se enfocó en la cuenca del río Bogotá, con el fin de comprender cómo los efectos acumulados de éstas han incurrido en la historia de la degradación física y ambiental del río. Sin embargo, al hacer un primer acercamiento a la revisión de dichas intervenciones, se concluyó que, para el tiempo de desarrollo del proyecto, no era posible documentar las intervenciones. Por tal motivo, se hizo un segundo acercamiento, tomando sólo la cuenca media como referencia, pero allí se encontró que, por ser éste un paisaje dominado casi en su totalidad por la ciudad de Bogotá, las intervenciones que podían identificarse allí son demasiado invasivas, concluyendo entonces que, para ese tramo del río, casi el 100% del mismo se encuentra intervenido. Es por todo lo anterior que se decidió hacer un recuento histórico desde la época de la colonia con las principales intervenciones documentadas en libros, o referentes históricos y que fueran de gran magnitud. Este proyecto pretende identificar algunas intervenciones físicas que ha sufrido el Río Bogotá desde la época de la colonia con el fin de determinar los principales esfuerzos teóricos necesarios para restaurarlo y proponer recomendaciones iniciales para el desarrollo de una iniciativa de restauración del río. El proyecto se enfocó en intervenciones físicas, por considerar que dicho enfoque carece de información desde una perspectiva ecológica, en especial para el caso específico del río Bogotá. Además, se restringió al cauce del río y su zona de influencia directa en algunas partes de la cuenca alta y media, debido a que una evaluación de la cuenca entera y todos sus afluentes requiere mucho más tiempo e información.

La pregunta general que se pretende responder es ¿Cuáles son algunas de las intervenciones morfológicas que ha sufrido el Río Bogotá en épocas recientes y los esfuerzos teóricos necesarios para restaurarlo?, para la cual se plantearon las siguientes preguntas específicas: ¿Qué intervenciones ha sufrido el Río Bogotá en épocas recientes?, ¿Qué aspectos ecológicos del río se ven afectados en teoría por dichas intervenciones?, y ¿Cuáles son los esfuerzos teóricos necesarios para restaurar el río Bogotá?

3. Objetivos

El objetivo general de este proyecto es identificar algunas intervenciones físicas que ha sufrido el Río Bogotá a partir de la época de la colonia y proponer esfuerzos necesarios para su restauración. Por tal razón se plantearon los siguientes objetivos específicos:

Objetivos específicos

- Identificar las principales intervenciones físicas que ha sufrido el Río Bogotá a lo largo de su historia reciente, principalmente en su cuenca alta y media
- Describir los principales impactos que afectan el río por dichas intervenciones.
- Proponer esfuerzos necesarios para la restauración del Río Bogotá.

4. Marco de referencia

4.1 Marco conceptual

4.1.1 *Perturbaciones en ríos y corrientes: escenario mundial*

Una perturbación sobre un cuerpo de agua puede definirse como un evento no biótico, estocástico, que da lugar a cambios visibles y abruptos en la composición del sistema fluvial, y que interfiere con el progreso dirigido internamente hacia la auto organización y el equilibrio ecológico (Bertrand *et al.* 2004). En las últimas décadas, el estudio de las perturbaciones se ha convertido en un tema central en la ecología de las corrientes (*stream ecology*), teniendo su auge en los años 80 cuando un gran número de publicaciones expresaron su preocupación por este fenómeno ecológico que podría llegar a alterar las interacciones bióticas de una forma significativa y la composición de las comunidades en los arroyos (Stanley, Powers & Lottig 2010). Uno de los aportes más importantes que se realizó en esta época fue el que hizo Petts (1979), quien expuso su preocupación por los daños irreparables sobre los sistemas fluviales ocasionados por el ser humano desde hace más de 2500 años, que sucedieron por “la ignorancia o indiferencia hacia las relaciones intrincadas que mantienen la estabilidad” de los ecosistemas, y en especial, los ecosistemas fluviales, por el uso que se les daba y la necesidad de “controlarlos”.

Estados Unidos, y algunos países de Asia, África y Europa han reportado y documentado en gran magnitud perturbaciones en sus sistemas fluviales; ejemplo de lo anterior son los ríos Missouri y Mississippi, ubicados en Estados Unidos, a los que se les han aplicado diferentes técnicas de ingeniería como diques, canalizaciones y modificaciones en sus afluentes para facilitar la navegación y controlar las inundaciones (Pinter *et al.* 2010). En este mismo país, otros ríos como el río Hudson, Wisconsin, Etowah y Little Miami, sufrieron desaparición de comunidades de peces, aumento en la cantidad de superficie impermeable, incremento drástico de la escorrentía y degradación de la calidad del hábitat acuático por el aumento del área urbanizada a su alrededor (Allan 2004).

En Asia, la urbanización a pasos agigantados y el cambio de usos en el suelo ha causado la degradación de la estructura del paisaje fluvial y ha afectado la sinuosidad del río Yangtzé, ubicado en China (Zhu *et al.* 2015), así como la cuenca del río Ganges-Padma en Bangladesh, que se ha visto altamente perjudicada por la deforestación y los cambios en el uso del suelo

en las montañas Himalaya, que al estar conectadas a través de la escorrentía con este río y algunos otros, han desencadenado aguas abajo, incremento en la carga de sedimentos y degradación de la capacidad de retención de aguas, teniendo como consecuencia un aumento de la vulnerabilidad frente a las inundaciones en Bangladesh. Además, la extracción excesiva de agua para sustentar actividades agrícolas, domésticas e industriales, en conjunto con una mala gestión de recursos naturales y desviación del flujo del río a través de presas, ha causado un gran desequilibrio en el sistema fluvial (Debnath 2016; Dewan *et al.* 2017). Un caso similar es el que describen Ellery & McCarthy (1998) en el Delta del río Boro en Botswana y Ayivor & Gordon (2012) en la Reserva Forestal de Atewa Range, donde la degradación generalizada, causada por actividades como el aumento del caudal del agua superficial, el dragado y el excavado han provocado impactos a corto plazo como la destrucción total de la flora dentro del canal del río y a largo plazo como la migración remontante de la erosión y la erradicación de la flora acuática.

Para el caso de Europa, los ríos han sufrido grandes transformaciones con el fin de adaptarlos a las necesidades humanas, lo que ha provocado un fenómeno general de degradación fluvial en todo el continente (European Centre for River Restoration 2000). Los ríos italianos, por ejemplo, han sido drásticamente intervenidos y perturbados. Algunos de los casos son los ríos Po, Arno y Tevere, a los cuales se les ha realizado canalizaciones, desvíos para prevenir inundaciones y aumentar la productividad agrícola, construcción de presas, minería de sedimentos, ajustes en el canal y otras cosas que han llevado a la alteración del régimen de flujo, las características del límite del canal y el suministro de sedimentos (Surian & Rinaldi 2003).

4.1.2 *Importancia de la geomorfología de los ríos*

Según Leopold & Maddock (1953) existe una condición de “equilibrio absoluto” entre la morfología del canal y las variables independientes de carga y descarga de sedimentos, de tal forma que la morfología del mismo varía y se equilibra con respecto a las condiciones promedio de energía dentro del mismo que se ajustan de acuerdo a los cambios constantes de dichas variables independientes. Sin embargo, este “equilibrio absoluto” rara vez está presente, aunque los sistemas fluviales efectivamente realicen procesos de ajuste de pendiente, geometría y configuración del lecho acorde a la carga y descarga de sedimentos (Petts 1979). La morfología de los ríos se mantiene en constante cambio, no sólo por estímulos externos como lo son la intervención humana y los cambios climáticos, sino también porque, de forma inherente, estos sistemas fluviales toleran una condición de inestabilidad que les permite el desarrollo de reajustes erosivos complejos determinados por el cambio en la escorrentía, la geología, la topografía y la carga de sedimentos a través del tiempo. Esta variabilidad natural crea unidades individuales en los canales, incluyendo rápidos (*riffles*), pozos (*pools*), barreras (*bars*) e islas (*islands*) que mantienen la biodiversidad y la

conectividad con las llanuras de inundación y otros elementos como los meandros y canales laterales que hacen que la comunicación entre la tierra y el agua sea compleja y dinámica (Petts 1979; Allan 2004).

Según Acuña *et al.* (2009) la forma de los ríos incide sobre las comunidades biológicas dependiendo de la pendiente, la rigurosidad del cauce, el caudal y la velocidad de la corriente. A gran escala -kilómetros- la morfología fluvial define la abundancia y distribución de hábitats y refugios, y determina oportunidades de dispersión para especies que requieren grandes espacios como las especies migratorias. A escala media -decenas de metros- la heterogeneidad que forma la presencia de unidades individuales fija la diversidad de hábitats y organismos. Finalmente, a pequeña escala -pocos metros y centímetros- la distribución de sedimentos de distintos tipos tiene influencia en las conexiones entre el agua superficial y la zona que se encuentra debajo de esta, donde se encuentran los sedimentos saturados del agua. Es debido a esta complejidad y a que los ríos son considerados como mosaicos que permiten una alta conectividad entre distintos hábitats, que los paisajes donde se encuentran estos sistemas son cada vez más reconocidos como “paisajes fluviales” (*riverscapes*) (Allan 2004).

4.1.3 Breve historia de la formación del Río Bogotá y sus características físicas y ambientales

Como se había mencionado anteriormente, los ríos son diversos y su singularidad está definida por características geológicas y climáticas. En el caso del río Bogotá, el entendimiento de su formación geológica es clave para comprender sus dinámicas y el ecosistema que éste representa. Van der Hammen (1998) y Boada (2006) hacen una descripción muy completa sobre cómo fue esta formación a través de las épocas geológicas: Hace aproximadamente cien millones de años el área donde actualmente se encuentra la sabana de Bogotá se encontraba bajo el océano, pero a finales del cretáceo el mar se vuelve menos profundo, lo que da lugar a la conformación de una planicie costera y la formación de grandes áreas pantanosas donde habitaba vegetación propia de este ecosistema. A comienzos del terciario, la influencia del mar desaparece y los ríos entran a cumplir un papel importante en esta zona que seguía siendo baja en ese entonces. Hace aproximadamente 10 millones de años, comienza el levantamiento y formación de la cordillera oriental, que tarda cerca de 7 millones de años para establecerse en la altura que conocemos en la actualidad, y es en este momento cuando se da la formación del altiplano de Bogotá.

Luego, la zona de la sabana sufre un hundimiento lento, a partir del cual se establece una cuenca cerrada (donde desembocan hoy en día el Río Bogotá y sus afluentes), gobernada por charcos y pantanos, y en la cual el drenaje es escaso, permitiendo la formación de una gran laguna. Para cuando iniciaron los glaciares e inter glaciares a comienzos del cuaternario (hace

aproximadamente 2,5 millones de años) los cambios fuertes y frecuentes del clima ocasionaron que el nivel de la laguna fluctuara y hace aproximadamente 1 millón de años esta zona sufrió un reajuste tectónico, que provocó la profundización del ambiente lacustre existente allí. Durante la última glaciación, que ocurrió hace aproximadamente 30 mil años, el clima se volvió menos lluvioso, y el nivel de la laguna bajó debido al desbordamiento que ocurría por el salto del Tequendama, hasta tal punto de desaparecer, lo que provocó que los ríos empezaran a pasar por el antiguo fondo de la laguna, formando su curso entre los sedimentos de la misma y creando entonces los actuales valles inundables del río Bogotá, sus afluentes y los humedales en las partes más bajas.

Actualmente el Río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque a aproximadamente 3.300 metros sobre el nivel del mar, donde presenta un relieve fuertemente ondulado, con pendientes entre 12% (7°) y 50% (26,57°), y donde predomina un sistema hidrogeológico conformado por sedimentos y rocas; pero mientras su flujo corre en sentido noreste-sureste, las colinas y lomeríos toman una forma más suave que permite pendientes leves ligeramente inclinadas y planas, que van desde 7% (4°) hasta 0% (0°) con un sistema dominado por sedimentos por la deposición de materiales después de la desaparición de la gran laguna y con recursos muy limitados de aguas subterráneas (Van der Hammen 1998; CAR 2006; CAR & FIAB 2012).

El río cuenta con una extensión de 72,9 kilómetros de longitud, en los que anualmente corre un caudal medio de 26,7 metros cúbicos por segundo y tiene una profundidad de 2 metros en promedio, con un ancho promedio de 28 metros (Boada 2006). En la zona de la llanura aluviolacustre (comúnmente llamada La Sabana), donde hay poca inclinación y dominan los sectores bajos y planos, el río contaba con numerosos humedales y valles de inundación con suelos que tienen un alto potencial de escorrentía, lo que quiere decir que son suelos donde la tasa de infiltración es muy lenta (CAR & FIAB 2012). En el año 2003, HMV Ingenieros caracterizaron el Río Bogotá como un río aluvial, con un cauce estable con baja capacidad de transporte, baja capacidad erosiva y alta sinuosidad, caracterizado por poseer un cauce angosto pero profundo y con longitud promedio de los meandros y radio hidráulico menor de lo común para este tipo de ríos.

4.2 Antecedentes

El disturbio a los ríos y cuencas, y los planes de gestión y manejo de éstos han sido ampliamente estudiados a lo largo de los años, principalmente en Estados Unidos, varios países de Asia y Europa. En Estados Unidos Bernhardt *et al.* (2005) sintetizan los esfuerzos de restauración que ha realizado este país, ya que, según ellos, más de un tercio de los ríos allí están contaminados y deteriorados, y la tasa de extinción para la fauna de agua dulce es cinco veces mayor que la de la biota terrestre. Bernhardt *et al.* analizan los 37.099 proyectos

de restauración de ríos que encontraron en las bases de datos nacionales desde el año 2004 y los clasifican en 13 categorías de restauración de acuerdo con el objetivo de cada proyecto. Finalmente describen que los objetivos de restauración más comunes en este país son: (1) mejorar la calidad del agua, (2) la gestión de las zonas ribereñas, (3) mejorar el hábitat dentro de los ríos, (4) el paso de los peces y (5) la estabilización de las riberas.

En Asia existe la Red Asiática para la Restauración de los ríos (*Asian River Restoration Network*), que está conformada por secretarías de tres países – China (*China Institute of Water Resources and Hydropower Research*), Corea (*Korea River Association*) y Japón (*Japan RiverFront Research Centre*) –, una región – Taichung, en China (*Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency*) – y varias instituciones. Esta red monitorea año tras año los avances de los proyectos que realiza cada uno de los países asociados y, así mismo, presenta un informe anual donde están descritos cada uno de estos; así mismo, publicó una “Guía de referencia para la restauración de las cuencas de los ríos en Asia”, donde se describen las principales problemáticas de algunos ríos en los países ya mencionados y las estrategias de restauración que fueron utilizadas (*Asian River Restoration Network 2012*).

Además, al igual que en estados unidos, Ratna *et al.* (2017) realizaron una sinopsis de los avances que se han logrado en materia de manejo de cuencas en el sur de Asia, y describieron que la mayoría de los países en esta región usan la gestión de las cuencas hidrográficas con el fin de abordar problemas como la degradación de la tierra y la protección de los yacimientos de agua; sin embargo en India la escala de manejo se ha reducido a microcuencas, debido a que allí el interés está en el desarrollo de la agricultura de secano (*rainfed agriculture*) y explican que ha sido exitosa debido a que ha contribuido en la mejora de los medios de subsistencia rurales, así como en los problemas de degradación de los recursos hídricos. Otros autores como Debnath (2016) y Dewan *et al.* (2017) se centraron en describir puntualmente los procesos de manejo que ha afrontado Bangladesh por poseer un sistema fluvial de gran importancia.

En el Reino Unido, el Centro de Restauración de Ríos (*the River Restoration Centre*) ha desarrollado manuales técnicos para la implementación de proyectos de restauración, guías teóricas que explican qué es la restauración de ríos y cómo planear un proyecto propio de restauración (*The river restoration centre 2003, 2013*). Así mismo lo han hecho en Australia el Departamento del Agua y la Regulación Ambiental, que es una entidad gubernamental (*Department of Water and Environmental Regulation*), el Centro Europeo para la Restauración de los ríos (*European Centre of River Restoration, ECRR*) y otras instituciones en diferentes lugares del mundo. Para el caso de América Latina y el Caribe Dourojeanni *et al.* (2002) hace una revisión extensa sobre las principales acciones y modalidades de gestión de cuencas y posteriormente describe y analiza algunos de los casos más recientes de gestión del agua en esta región del mundo. También, Perez & Tschinkel (2003) realizaron un estudio sobre los avances en el manejo de cuencas que se hacen en los siguientes países:

Guatemala, Costa Rica, Ecuador, Honduras, Perú, Níger, Uganda y Tailandia, donde describen que en éstos lugares, los proyectos de manejo de cuencas han intentado combinar el alivio de la pobreza con los objetivos de conservación de recursos pero han fracasado en el cumplimiento de sus objetivos, debido a que el enfoque es mayoritariamente “el trabajo con los pobres” y no la conservación de los recursos hídricos ni ecológicos, por lo que el criterio de selección de sitios y acciones para la conservación se encuentra sesgado por dicha situación.

Además, la ecología fluvial o de corrientes ha sido un asunto extensamente evaluado por autores de muchas regiones, debido a la gran diversidad de las corrientes y los ríos. Aunque existen estudios generales sobre las condiciones, el funcionamiento y la ecología de los ríos y arroyos (Petts & Amoros 1996; Hauer & Lamberti 2007; Acuña *et al.* 2009; Elliott 2010), los ríos en Europa no son iguales a los de América, y los ríos de las regiones tropicales tienen características únicas (Dudgeon 2008). A pesar de lo anterior, en las regiones tropicales, especialmente en Sur América, no hay instituciones encargadas del manejo y restauración de los ríos como si las hay en las regiones anteriormente mencionadas.

La restauración de ríos también ha sido una cuestión importante para las ciencias hidrológicas, ya que alrededor del mundo, la degradación de los ecosistemas acuáticos está presente como uno de los problemas más recurrentes por resolver (Wohl *et al.* 2005), es por esto que diferentes entidades que ya han sido mencionadas con anterioridad han publicado manuales y guías para la restauración de éstos ecosistemas (The river restoration centre 2003; Zhu *et al.* 2015; Addy *et al.* 2016). Además, otros autores se han encargado de examinar las estrategias de restauración, dando nuevos aportes sobre la estandarización de éstas para asegurar su factibilidad y éxito (Wissmar & Bisson 2004; Palmer *et al.* 2005; Jähnig *et al.* 2016).

En Cundinamarca, la Corporación Autónoma Regional (CAR), el que solía ser el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), ahora Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) son los que han liderado los estudios del río Bogotá. Estos entes se han encargado del estudio y monitoreo de las condiciones físicas y calidad del agua en el río Bogotá, planteando planes de ordenación y manejo, recuperación ambiental, tratamiento de aguas y demás (Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia-Departamento Nacional de Planeación DNP 2004; DAMA 2004, 2005; Contraloría de Bogotá D.C. 2005; ECOFOREST LTDA 2005; CAR 2006, 2012a); sin embargo, la desarticulación de las entidades públicas nacionales, departamentales y municipales para el manejo de la cuenca ha ocasionado que aún hoy en día el río siga sufriendo y teniendo planes de recuperación que no parecieran estar alineados con las experiencias a nivel internacional. Es por lo anterior que el Concejo de Estado en el año 2014 emitió una sentencia en la que dictaminó, entre otras cosas, que la gestión de la cuenca debía plantearse desde un enfoque “interdisciplinario, sistémico e interinstitucional” (Consejo de Estado

2014). A pesar de la gran cantidad de estudios que ha realizado la CAR sobre este río, es escasa la información sintetizada que se tiene acerca de los cambios morfológicos que ha sufrido a través de los años por causa de las transformaciones circundantes.

5. Área de estudio

La cuenca del Río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca. Limita en su extremo norte con el Departamento de Boyacá, en el extremo sur con el Departamento del Tolima, al occidente con las cuencas de los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Machetá. Políticamente, la cuenca está conformada por 45 municipios y el Distrito Capital, siendo la CAR la autoridad encargada de su gestión ambiental (CAR 2006, 2012a). Tiene una superficie total de 589.143 hectáreas que corresponden a cerca del 32% del total de la superficie departamental (CAR 2006)

La cuenca se divide en tres sectores (CAR 2012a):

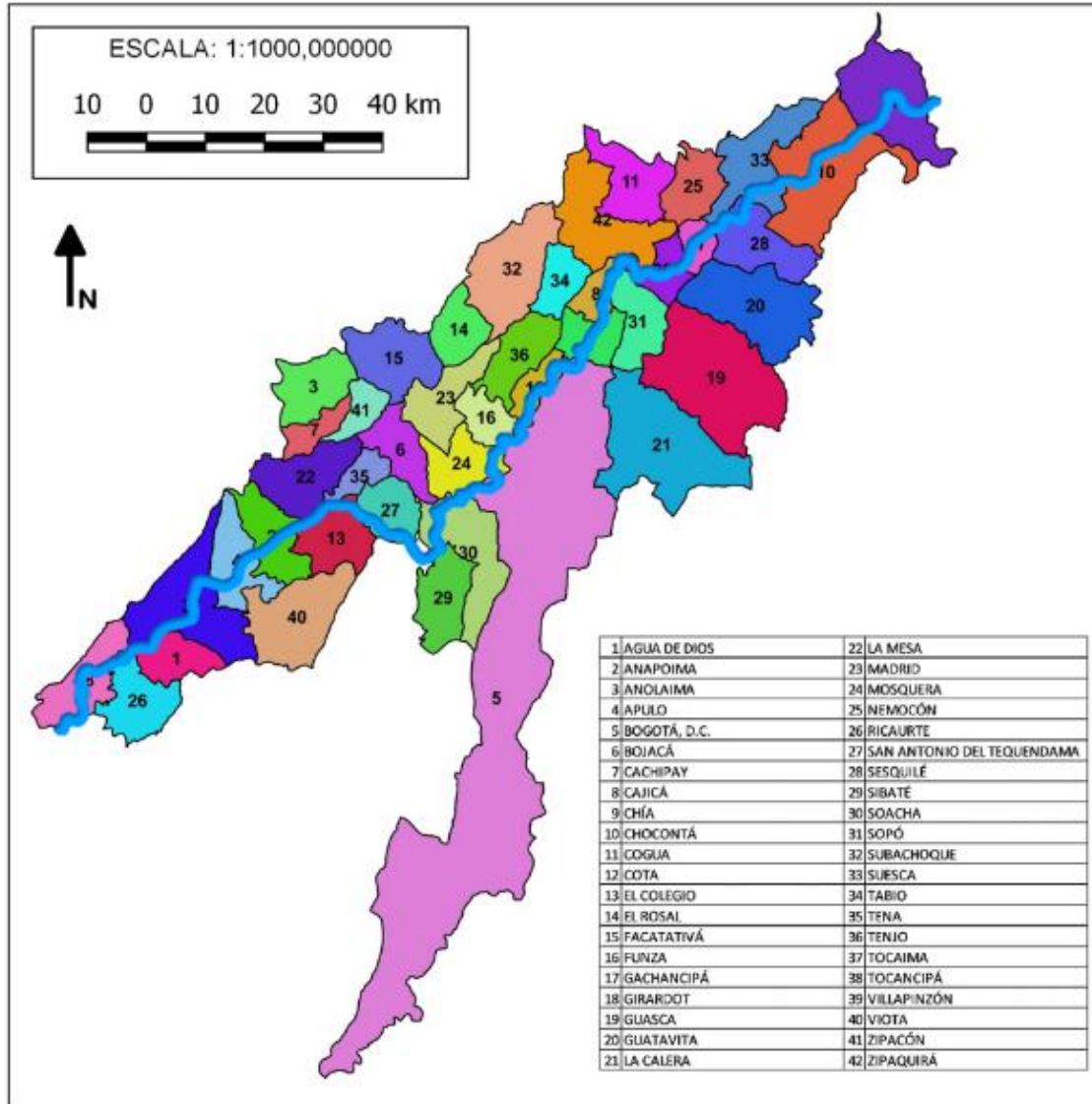
- Cuenca Alta: entre el municipio de Villapinzón y la estación hidrometeorológica Puente La Virgen.
- Cuenca Media: entre la estación hidrometeorológica Puente La Virgen y las compuertas Alicachín, en inmediaciones del embalse del Muña (A su vez se divide en cuenca media occidental y oriental, en la cual se localiza el Distrito Capital)
- Cuenca Baja: entre El Embalse del Muña y la desembocadura del Río Bogotá en el río Magdalena.

Debido a su historia geológica, este río atraviesa el departamento dividiéndolo casi en dos partes iguales y su recorrido cambia de dinámica de acuerdo con la topografía de las tierras que recorre. A pesar de no ser un río muy caudaloso ni navegable, el 26% de las actividades económicas del país son desarrolladas en su cuenca, debido a la producción agrícola, las actividades pecuarias y la industria que se lleva a cabo a lo largo de su recorrido (CAR & FIAB 2012).

Mapa 1. Mapa de la cuenca hidrográfica del río Bogotá.

ÁREA DE CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ

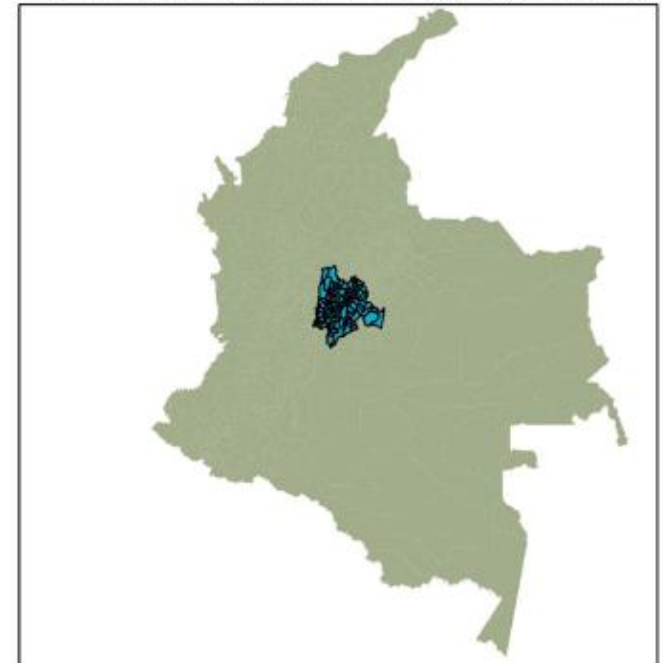
MUNICIPIOS QUE CONFORMAN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ EN CUNDINAMARCA

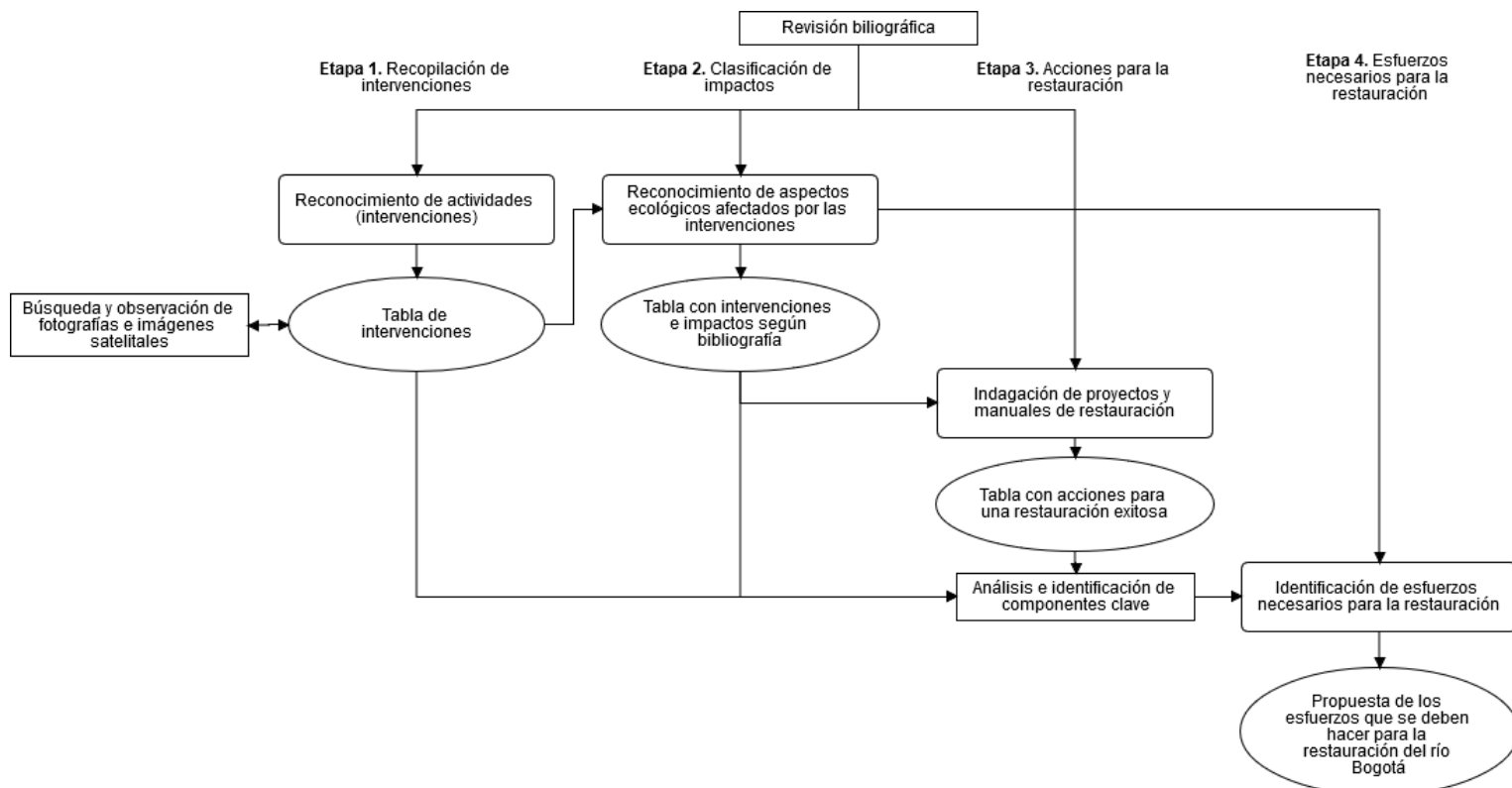


LOCALIZACION DE CUNDINAMARCA EN COLOMBIA



6. Materiales y métodos

6.1 Diagrama de flujo



Fuente: Creación propia

6.2 Diseño del estudio

Con el fin de cumplir los objetivos planteados, el proyecto se dividió en 4 etapas; las tres primeras se basaron en la búsqueda y síntesis de información, mientras que la última etapa consistió en el análisis de los datos recolectados:

- (1) *Recopilación de intervenciones*: durante esta etapa se buscó cumplir con el primer objetivo específico, para lo cual fue necesario recopilar información sobre las intervenciones que ha sufrido el Río Bogotá a lo largo de los años, concretamente desde la época de la colonia. La selección de las intervenciones se hizo a partir de los siguientes criterios: año, tipo de intervención y relevancia con respecto al objetivo específico y general del proyecto
- (2) *Clasificación de impactos*: durante esta etapa se buscó cumplir con el segundo objetivo específico, para lo cual fue necesario el entendimiento de los impactos que sufren los sistemas fluviales a partir de las intervenciones

físicas, por lo que se hizo una revisión de proyectos, reportes y demás documentos realizados a nivel nacional e internacional, que pudieran aportar al conocimiento, comprensión y clasificación de los impactos originados por las intervenciones identificadas anteriormente. La selección de los impactos se hizo a partir de los siguientes criterios: pertinencia con respecto al Río Bogotá (de acuerdo con las características físicas y ambientales del mismo), lugar donde se realizó el estudio, año y relevancia con respecto al objetivo específico y general del proyecto.

- (3) *Acciones para la restauración:* durante esta etapa y la siguiente se buscó cumplir con el tercer objetivo específico. Se revisaron proyectos y manuales de restauración de ríos y canales a nivel internacional, para comprender las estrategias utilizadas y que han sido exitosas en la restauración de los impactos identificados con anterioridad. La selección de los proyectos y manuales de restauración se hizo a partir de los siguientes criterios: temática principal relacionada con restauración de ríos, éxito en la aplicación de las estrategias, pertinencia con respecto al Río Bogotá y relevancia con respecto al objetivo específico y general del proyecto.
- (4) *Esfuerzos necesarios para la restauración:* esta última etapa tuvo como fin el análisis de los datos recolectados a partir de las etapas anteriores. Aquí se tuvo en cuenta las intervenciones, los impactos y las acciones para la restauración con el objetivo de resumir los esfuerzos que teóricamente serían necesarios para la restauración del río basados en sus características, los impactos que ha sufrido y las acciones para la restauración recopiladas a través de la revisión bibliográfica.

6.3 Métodos de recolección de datos

Al ser un proyecto basado en revisión bibliográfica, de la (1) recopilación de intervenciones, (2) clasificación de impactos, (3) acciones para la restauración y (4) esfuerzos necesarios para la restauración fue recopilada de libros, artículos, reportes y proyectos nacionales e internacionales, obtenidos a través de bases de datos proporcionados por la biblioteca de la Pontificia Universidad Javeriana, bibliotecas públicas y privadas, búsqueda en línea y entrevistas. Para cada uno de los conjuntos de datos ya mencionados se hizo una búsqueda a partir de palabras clave en español e inglés, de la siguiente manera:

- (1) *Recopilación de intervenciones:* río Bogotá/*Bogota river*, historia de Bogotá/*Bogota history*, agua en Bogotá/*water in Bogota*, degradación del río Bogotá/*Bogota river degradation*. Además de lo anterior, se realizó una entrevista semi-estructurada al Sr. Germán R. Mejía Pavony, decano de la Facultad de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Javeriana y experto en historia de Bogotá. Algunas intervenciones no se tuvieron en cuenta, como la construcción de la planta de tratamiento “El Salitre”, la construcción y posibles impactos del acueducto y alcantarillado de Bogotá, ni

de los demás municipios, los impactos de muchas de las vías que atraviesan el río, embalses, el cambio en la cobertura de la cuenca y sobre los afluentes del río, entre otras. Para complementar la información obtenida, se realizó también una búsqueda de imágenes de referencia, donde se seleccionaron fotografías e imágenes satelitales de los puntos de interés. La información obtenida se organizó en la Tabla 1.

- (2) *Clasificación de impactos*: de acuerdo con cada una de las intervenciones identificadas anteriormente se realizó una búsqueda específica de palabras clave con el fin de poder identificar los posibles impactos que podrían generarse a partir de cada una. Algunas de las palabras clave que se utilizaron fueron: puentes sobre ríos-corrientes/*bridges over rivers-streams*, urbanización y ríos-corrientes/*urbanization and rivers-streams*, diques en ríos-corrientes/*dykes in rivers-streams*, puertos en ríos-corrientes/*harbors in rivers-streams*, presas de agua/*water dams*, desviación de ríos-corrientes/*river-stream deviation*, vegetación de ríos-corrientes/*river-stream vegetation*, dragado de ríos-corrientes/*river-stream dredging*. Además de lo anterior, se realizó una entrevista semi-estructurada al Sr. Camilo Torres Pardo, profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana y Jefe de Sección de Hidrotecnia y Ambiental y al Sr. Andrés Vargas Luna, profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana y doctor en Ingeniería Hidráulica. La información obtenida se organizó en la Tabla 2.
- (3) *Acciones para la restauración*: de acuerdo con los impactos identificados anteriormente se realizó una búsqueda específica de palabras clave con el fin de hallar proyectos y manuales de restauración enfocados en los aspectos de interés. Algunas de las palabras clave que se utilizaron fueron: restauración de ríos/*river restoration*, régimen de sedimentos/*sediment regime*, pérdida de vegetación en ríos-corrientes/*vegetation loss in river-stream*, patrón del canal/*channel pattern*, erosión aguas arriba/*upstream erosion (knickpoints)*. La información obtenida se organizó en la Tabla 3.
- (4) *Esfuerzos necesarios para la restauración*: Después del análisis de los datos obtenidos en la fase (2) *Impactos teóricos* y (3) *Acciones para la restauración*, se determinaron los componentes clave que deberían estar incluidos en una propuesta de restauración. Posteriormente, se hizo una propuesta de los esfuerzos teóricos que se deben hacer para la restauración del río Bogotá, integrando los componentes anteriores.

6.4 Métodos de análisis de datos

Para el análisis, se tomó la información obtenida y sintetizada en las Tablas 2 y 3 de las fases (2) *clasificación de impactos* y (3) *acciones para la restauración*. Para la fase (2) *clasificación de impactos*, se hizo un cálculo de porcentajes de ocurrencia de impactos en cada una de las intervenciones, con el objetivo de

saber cuáles de las intervenciones identificadas presentan mayor número de impactos. Para esto se le realizó la siguiente operación a cada una de las intervenciones:

$$\%O = S_N / I_T$$

Donde: $\%O$ = porcentaje de ocurrencia
 S = suma de número de impactos por intervención
 N = intervención
 I_T = número total de impactos en todas las intervenciones

Posteriormente se calculó el porcentaje de frecuencia de cada uno de los impactos con respecto al resto. Esto se realizó con el objetivo de saber cuáles impactos se repitieron mayor número de veces, es decir, cuáles impactos ocurrieron en diferentes intervenciones. Para esto se le realizó la siguiente operación a cada uno de ellos:

$$\%F = S_m / i_t$$

Donde: $\%F$ = porcentaje de frecuencia
 s = suma de número de veces que se repite el impacto en todas las intervenciones
 m = impacto
 i_t = número total de impactos diferentes

Para la fase (3) *acciones para la restauración*, se hizo el cálculo de la frecuencia con la que se repetían las acciones identificadas en los estudios revisados, con el fin de identificar cuáles de las acciones fueron mencionadas mayor número veces por los autores. A cada una de las acciones se le aplicó la siguiente ecuación:

$$\%F = Z_p / E$$

Donde: $\%F$ = porcentaje de frecuencia
 Z = suma número de veces que se menciona el paso en los estudios
 p = paso
 E = número total de estudios revisados

A partir del análisis se pudieron determinar los factores más frecuentes y relevantes, que debían ser incluidos y estudiados en la propuesta de *esfuerzos necesarios para la restauración*.

7. Resultados

7.1 Recopilación de intervenciones

A lo largo de los años, el Río Bogotá ha experimentado diferentes tipos de intervención. Aunque antes de la conquista española, los Muisca habitaron cerca al río e hicieron uso de los recursos, que este y las tierras a su alrededor, les proporcionaban. Ellos construyeron sistemas de agricultura intensiva como los camellones y aprovecharon las inundaciones como una fuente importante de renovación y enriquecimiento para los suelos (Boada 2006) (ver Anexo 1).

Aunque en sus inicios la ciudad de Bogotá no tenía un contacto directo con el río, debido a su lejanía, ya desde la época de la colonia dichas inundaciones fueron el principal motivo para intervenir este cuerpo de agua, debido a la necesidad de proteger las vidas de las personas que habitaban en los terrenos cercanos al canal y las actividades económicas que se realizaban en el mismo.

A partir de la revisión bibliográfica se identificaron 11 intervenciones importantes, organizadas en la Tabla 1, donde se especifica el año o época en la que ocurrió, la intervención como tal y la motivación que hubo para realizarla.

Casi todas las intervenciones que se identificaron fueron hechas para mantenerse permanentemente, y hoy en día siguen estando presentes, aunque algunas de ellas se han transformado. En el Anexo 2 se pueden observar algunas imágenes de referencia de las intervenciones, y en algunos casos se pudo recopilar imágenes alusivas a la época en las que fueron realizadas e imágenes satelitales de cómo se ven ahora.

Todas las intervenciones identificadas, a excepción de la última, fueron concebidas bajo percepciones en las que se considera al río como problema por las constantes inundaciones o como la fuente de abastecimiento humano y de desecho de residuos, dejándole pocas oportunidades para ser considerado como un ecosistema valioso para conservar, darle uso de manera sostenible y ser apreciado por los habitantes de Bogotá como un espacio de recreación natural. La última de las intervenciones identificadas se realizó con el objetivo de “transformar el río Bogotá, mediante la mejora de la calidad de agua, la reducción de los riesgos por inundación y la creación de áreas multifuncionales a lo largo del río” (CAR 2012a), lo que busca realizar una rehabilitación del ecosistema para darle a la población urbana de la ciudad de Bogotá el sentido de pertenencia hacia el río que nunca tuvo.

Tabla 1. Intervenciones sobre el Río Bogotá según datación histórica

N°	ANO	INTERVENCIÓN	MOTIVACION	REFERENCIAS
1.	Siglo XVI	Construcción de puentes de madera sobre el cauce del río que debían ser renovados cada 6 años.	Crecientes del río en épocas de lluvia.	(Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca 1985)
2.	1620	Construcción de puente de mampostería "La puente grande de nuestra señora de Atocha", hoy conocido como la carretera de Occidente (calle 17).	Reemplazar los puentes de madera para ahorrar en la renovación.	(Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá <i>et al.</i> 1985)
3.	1773	Construcción de puentes, calles y casas alrededor del cauce del río.	Expansión urbana por fundación del pueblo de Villapinzón (que es atravesado por el río).	(Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá <i>et al.</i> 1985)
4.	1796	Construcción de puente de mampostería "Puente del común" sobre el cauce del río.	Al constituir el valle de Chía el nivel más bajo de la sabana representaba gran riesgo de inundación. Se quiso preservar vidas y haciendas.	(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968; Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá <i>et al.</i> 1985)
5.	1893	Construcción de jarillones para restringir el caudal del río.	Inundaciones que se presentaron en los años 1879, 1886 y 1893.	(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968)
6.	Finales siglo XIX	Construcción de desembarcadero de carbón. Este se realizó sobre el cauce del río.	Necesidad de nuevas fuentes de energía, ya que, debido a la deforestación de los cerros, la madera era escasa. El carbón era traído de Ubaté.	(Mejía, 2017)
7.	1926	Captación de agua del río por medio de cuatro bombas tipo tornillo.	Construcción del Sistema de Riego La Ramada, con el fin de evitar inundaciones y permitir el riego de 1000 Ha.	(CAR 2012a)
8.	1948 y 1949	Bombeo de aguas del río Bogotá.	Inicio de operación del Embalse y Sistema de bombeo Muña, sobre el margen izquierdo del río Bogotá para la generación de energía. Construcción de los embalses Neusa y Sisga para el abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá.	(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968; CAR 2012a)
9.	1954	Dragado del río para la construcción de una dársena. Esto implicó la rectificación permanente del río. Compuertas y bocatoma para la captación y bombeo de hasta 6m ³ de agua del río.	Construcción de la planta de tratamiento de Tibitoc y posterior acueducto.	(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968, 2003)
10.		Rectificación, dragado, y ampliación del cauce del río.	Implementación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Además se buscó solucionar el problema de las inundaciones.	(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá 1968; Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca 1973; Gomez Cajiao y Asociados CIA. LTDA. 1981; Ordoñez 1985; HNV Ingenieros 2003)
11.	1996	Desvío del canal del río.	Construcción de la pista sur del Aeropuerto Internacional El Dorado, con motivo de su ampliación.	(Redacción El Tiempo 1998)
12.	2012 - 2017	Dragado del río, construcción de jarillones y descapote.	Plan de Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental.	(CAR 2012a; b; c)

Fuente: Creación propia

Debido a la inmensa cantidad de intervenciones que hay, en el presente estudio no fueron analizadas otras intervenciones como la canalización de los afluentes del río, las adecuaciones para el sistema de acueducto y alcantarillado de Bogotá, las carreteras y construcciones que se realizaron sobre o alrededor del río y los humedales, y generaron fragmentación de estos ecosistemas. En el Anexo 3 se pueden observar algunas imágenes de referencia para algunas de estas intervenciones mencionadas, ya que vale la pena conocerlas, puesto que están tan inmersas en el paisaje urbano que no existe conciencia de ellas.

7.2 Clasificación de impactos

Luego de la identificación de las intervenciones, mediante la revisión bibliográfica presentada en la Tabla 2, se describieron los aspectos físicos que teóricamente se vieron afectados por estas. Se organizaron los posibles impactos reconocibles fácilmente y posteriormente se realizó una descripción de dichos aspectos para cada uno de los impactos.

Para la identificación de los impactos, este estudio hizo énfasis en los aspectos morfodinámicos, razón por la cual se excluyen en gran medida impactos hacia la biota del río. Lo anterior es debido a que actualmente este río no alberga comunidades animales dentro de su corriente y no se tiene claridad de las especies que alguna vez lo habitaron, además, como se planteó, el enfoque del trabajo es hacia las características morfológicas. Sin embargo, es claro que la existencia de especies acuáticas y su correcta introducción y manejo debe ser un objetivo a largo plazo.

Cada uno de los impactos teóricos reconocidos anteriormente, representa una afectación diferente en los aspectos ecológicos del río, por lo que se procede a describirlos a continuación:

- Actúa como dique para la llanura de inundación: la fragmentación de la llanura provoca mayor vulnerabilidad a inundaciones, porque desequilibra el intercambio normal del flujo, aumenta la velocidad en estos puntos, altera la erosión, los sedimentos, nutrientes y organismos (Opperman *et al.* 2010).

Tabla 2. Impactos sobre el río bogotá, según intervenciones

N°	INTERVENCIÓN	IMPACTOS TEÓRICOS	REFERENCIAS
1.	Construcción de puentes de madera sobre el cauce del río que debían ser renovados cada 6 años.	Actúa como dique para la llanura de inundación Reducción del área del canal	(Torres 2017); (Vargas 2017)
2.	Construcción de puente de mampostería "La puente grande de nuestra señora de Atocha", hoy conocido como la carretera de Occidente (calle 17).	Actúa como dique para la llanura de inundación Reducción del área del canal	(Torres 2017); (Vargas 2017)
3.	Construcción de puentes, calles y casas alrededor del cauce del río.	Aumento de superficie de suelo impermeable Pérdida de vegetación ribereña	(Padmalal & Maya 2014); (Allan 2004)
4.	Construcción de puente de mampostería "Puente del común" sobre el cauce del río.	Actúa como dique para la llanura de inundación Reducción del área del canal	(Torres 2017); (Vargas 2017)
5.	Construcción de jarillones para restringir el caudal del río.	Alteración en el patrón del canal Pérdida de vegetación ribereña	(Surian & Rinaldi 2003)
6.	Construcción de desembarcadero de carbón. Este se realizó sobre el cauce del río.	Aumento del ancho del canal Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos	(Torres 2017); (Surian & Rinaldi 2003)
7.	Captación de agua del río por medio de cuatro bombas tipo tornillo	Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos	(Surian & Rinaldi 2003); (Padmalal & Maya 2014); (Ellery & McCarthy 1998)
8.	Bombeo de aguas del río Bogotá.	Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos	(Surian & Rinaldi 2003); (Padmalal & Maya 2014); (Ellery & McCarthy 1998)
9.	Dragado del río para la construcción de una dársena. Esto implicó la rectificación permanente del río. Compuertas y bocatoma para la captación y bombeo de hasta 6m ³ de agua del río.	Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo Erosión aguas arriba (<i>knickpoints</i>) Pérdida de recursos de aguas subterráneas Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos	(Padmalal & Maya 2014); (Ellery & McCarthy 1998); (Muehlbauer & Doyle 2012); (Surian & Rinaldi 2003)
10.	Rectificación, dragado, y ampliación del cauce del río.	Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo Alteración en el patrón del canal Aumento del ancho del canal Erosión aguas arriba (<i>knickpoints</i>)	(Surian & Rinaldi 2003); (Padmalal & Maya 2014); (Ellery & McCarthy 1998); (Camporeale <i>et al.</i> 2013)
11.	Desvío del canal del río.	Alteración de la morfología y longitud del canal Pérdida de recursos de aguas subterráneas	(Surian & Rinaldi 2003); (Vargas 2017)
12.	Dragado del río Construcción de jarillones Descapote	Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo Aumento del ancho del canal Erosión aguas arriba (<i>knickpoints</i>) Pérdida de recursos de aguas subterráneas Pérdida de vegetación ribereña	(Padmalal & Maya 2014); (Ellery & McCarthy 1998); (Muehlbauer & Doyle 2012); (Surian & Rinaldi 2003)

Fuente: creación propia

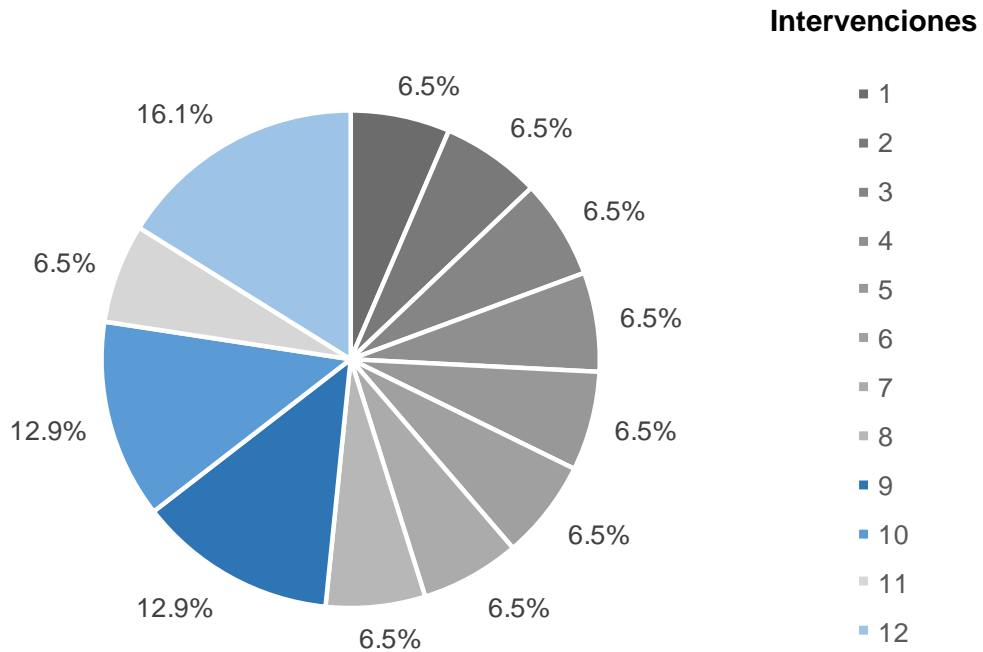
- Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo: en el sentido de impacto por modificaciones físicas y geomorfológicas y no de contaminación por vertimientos. El río reiniciaría un reajuste de la morfología del canal, lo que afecta los procesos químicos y las comunidades bióticas. Esto sucede a través de tres grupos de cambios: 1. Degradación: se genera erosión progresiva aguas abajo. 2. Agradación: ocurre una acumulación de sedimentos por la incapacidad que tiene el caudal de arrastrarlos. 3. Metamorfosis: debido a los dos procesos anteriores, el canal sufre un cambio en su morfología, lo que afecta sus características de energía como la velocidad, teniendo repercusiones en la productividad primaria y en los organismos vivos (Petts 1979; Acuña *et al.* 2009).
- Alteración en el patrón del canal: esto sucede debido a los ajustes que se le imponen al canal, que restringen las interacciones entre el río, el margen y donde debió existir un bosque ripario, lo que provoca que durante las épocas de crecidas del río, éste no tenga hacia dónde desbordar y causa que la velocidad del agua aumente de tal manera que el río excava su lecho y queda desconectado de la llanura de inundación (Allan 2004; Acuña *et al.* 2009).
- Alteración de la morfología y longitud del canal: los cambios en la forma y longitud del canal alteran el equilibrio dinámico, lo que ocasiona la disminución o aumento de la velocidad del agua, alterando el transporte de sedimentos y ocasionando cambios en la pendiente del mismo (Vargas 2017).
- Aumento de la superficie de suelo impermeable: debido a la implementación de estructuras de cemento o materiales que no permiten la infiltración. Produce que las condiciones hidrológicas sean imprevisibles; ocasiona que el nivel de escorrentía sea mayor, degradando las corrientes y desplazando los organismos, debido a que las inundaciones pueden darse con mayor frecuencia e intensidad (Allan 2004).
- Aumento del ancho del canal: provoca la disminución de la velocidad del canal, lo que origina cambios en los patrones de interacción entre el componente biótico y abiótico, ocasionando mayor sedimentación y condiciones ideales para la colonización de plantas macrófitas, lo que podría llegar a modificar la morfología del canal. Además provoca un efecto de desequilibrio en los meandros, ocasionando la sedimentación de materiales en la curva más cerrada -interna- y erosión del borde en la curva más amplia -externa- (Acuña *et al.* 2009; Torres 2017).
- Erosión aguas arriba (*knickpoints*): ocasiona cambios bruscos e irregulares en la pendiente del lecho de un río a lo largo de su perfil longitudinal, migrando a tasas de metros o más por año y resulta perjudicial para la estabilidad y la estructura de la corriente (Castillo & Lugo-Hubp 2011; Muehlbauer & Doyle 2012).

- Pérdida de recursos de aguas subterráneas: genera desconexión vertical entre el cuerpo de agua superficial y el agua subterránea que se encuentra en el acuífero aluvial y la roca subyacente de la cama; afecta la dinámica de la vegetación ribereña; desequilibra la dinámica térmica, debido a que la cantidad de agua subterránea define la temperatura del agua fuente, y esta, junto con la temperatura del aire, la extensión de cobertura vegetal, la velocidad del viento, entre otros factores determinan la temperatura media del cauce (Allan & Castillo 2007; Camporeale *et al.* 2013).
- Pérdida de vegetación ribereña: permite la entrada directa de luz, lo que conlleva al aumento en la temperatura del agua que queda expuesta y el rápido crecimiento de plantas acuáticas (buchón de agua - *Eichornia crassipes*); facilita el cambio de la heterotrofia a la autotrofia; disminuye y/o elimina escombros leñosos que sirven como un importante hábitat y lugar de desove para especies acuáticas; produce reducción de la conectividad con otros ecosistemas terrestres; afecta la capacidad de atenuar inundaciones y moderar las reservas de agua, condiciones que permitirían mantener la escorrentía y aumentar las tasas de infiltración y evapotranspiración; impide la captación de sedimentos finos y contaminantes, y el procesamiento de nutrientes y materia orgánica, lo que mejoraría la calidad del agua; afecta la estabilidad de la orilla, ya que la inexistencia de raíces y rizomas genera cambios en las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, debilitando la resistencia a la erosión (Allan 2004; Camporeale *et al.* 2013; Padmalal & Maya 2014).
- Reducción del área del canal: produce aumento en la velocidad del caudal debido a que la cantidad de agua que pasa por el punto es la misma pero el espacio disminuye, lo que hace que haya un aumento en el arrastre de sedimentos, que los bordes se erosionen y haya inestabilidad. Además, la velocidad (junto con la luz) es uno de los factores energéticos de gran importancia para los seres vivos acuáticos, y al ser alterada, la composición de la biota también cambia (Acuña *et al.* 2009; Torres 2017; Vargas 2017).
- Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos: crea una disminución o aumento en las descargas del canal y afecta el suministro y transporte de sedimentos en el cauce, lo que impacta en la potencia de la corriente y altera el estado de equilibrio dinámico del canal (Surian & Rinaldi 2003; Allan 2004).

Las intervenciones que mayor número de impactos ocasionan, en comparación con las otras fueron la (9) dragado del río para la construcción de una dársena, lo que implicó la rectificación permanente del río y la construcción de compuertas y bocatoma para la captación y bombeo del agua del río, (10) rectificación, dragado y ampliación del cauce del río y (12) el dragado del río, la construcción de jarillones y el descapote. En la Gráfica 1 se puede observar que estas tres intervenciones representan el 42% de los impactos totales, expresado en

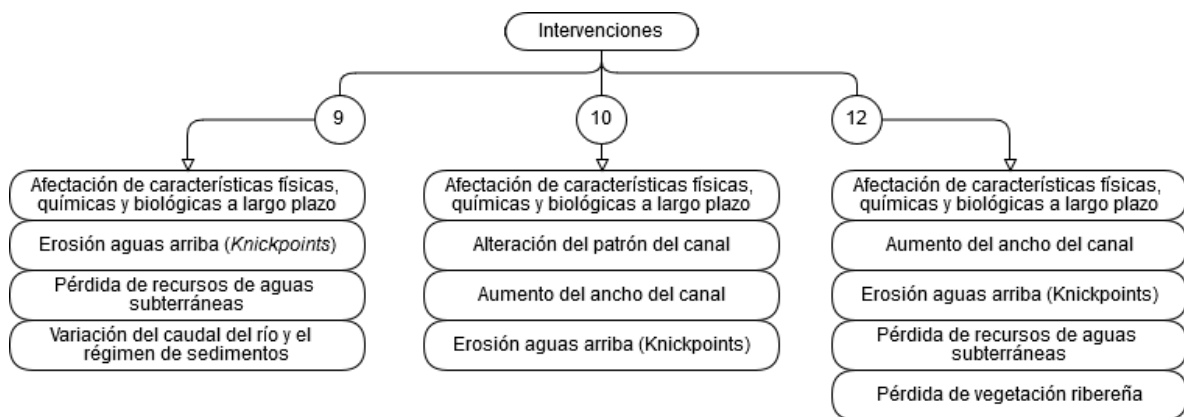
cantidad. Esto podría estar indicando que estas intervenciones son más agresivas que las otras, en términos de que, en teoría, ocasionan mayores impactos en comparación con las otras. En la figura 1 se pueden observar los impactos físicos directos sobre el cauce y su geomorfología.

Gráfica 1. Porcentajes de ocurrencia de impactos sobre el Río Bogotá para cada intervención



Fuente: creación propia

Figura 1. Impactos que generan las intervenciones reconocidas como clave sobre el Río Bogotá

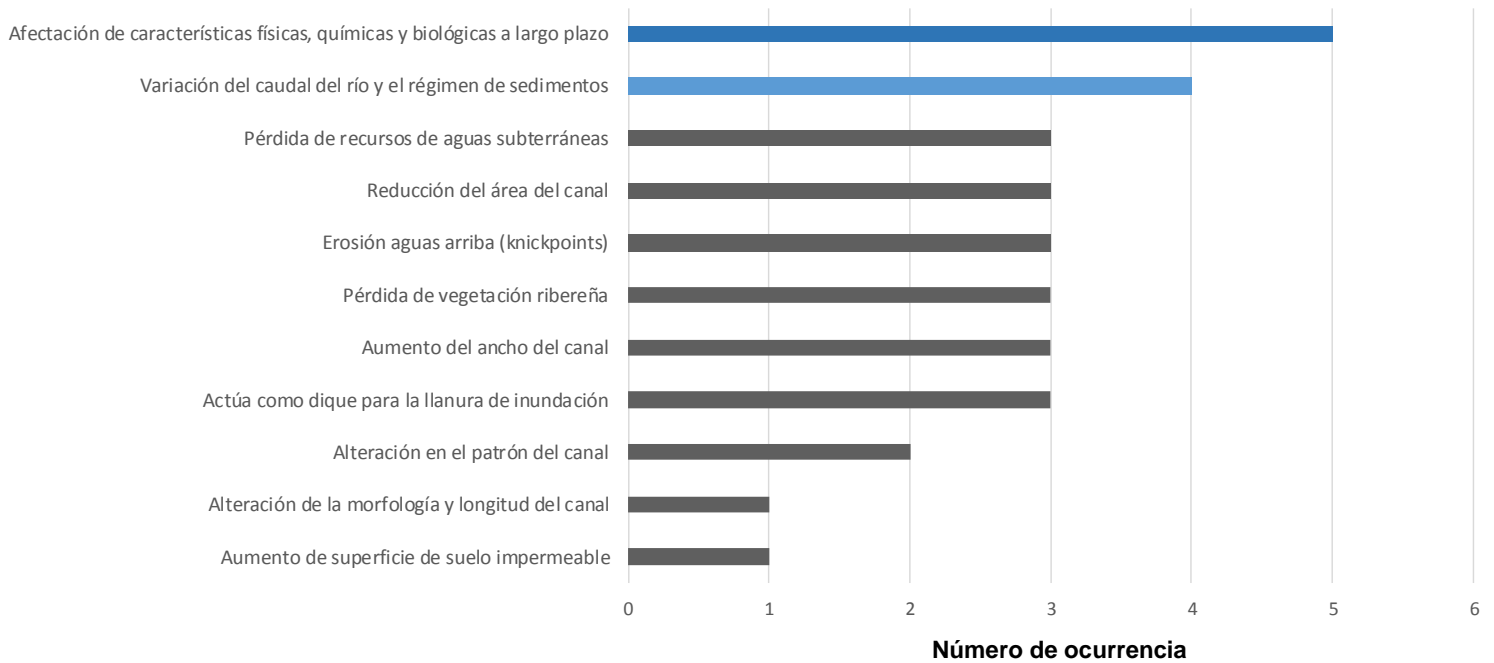


Fuente: creación propia

Además de lo anterior, dos de los once impactos identificados tuvieron mayor frecuencia que los otros, es decir, estos impactos estuvieron presentes en mayor número de intervenciones, teniendo en cuenta que, para una misma intervención,

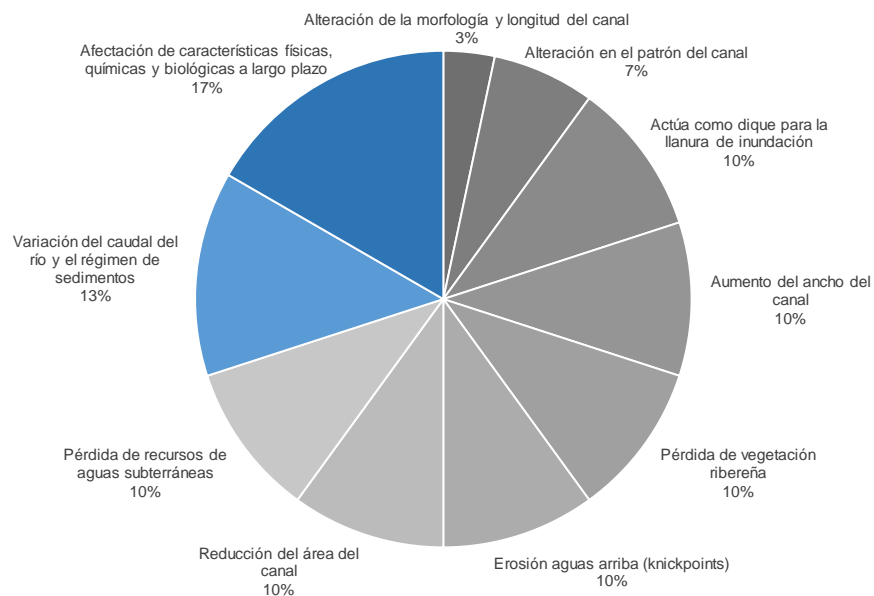
los impactos no se repiten. En la Gráfica 2 se puede observar que los impactos que mayor número de veces se repitieron fueron “*Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo*” y “*Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos*”. Éstos representan el 30% de los impactos totales, como se puede apreciar en la Gráfica 3.

Gráfica 2. Frecuencia de los impactos sobre el río Bogotá por intervención



Fuente: creación propia

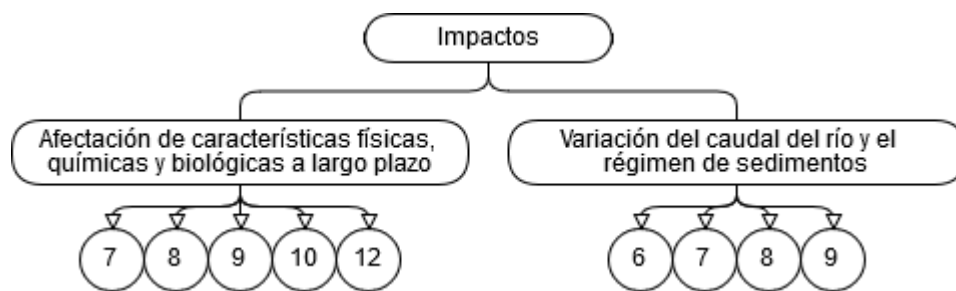
Gráfica 3. Porcentaje relativo de frecuencia de los impactos sobre el río Bogotá, con respecto a los otros



Fuente: creación propia

El impacto que mayor número de veces se repite y que, por esto, tiene un mayor porcentaje de frecuencia (“*Afectación de características físicas, químicas y biológicas a largo plazo*”), es ocasionado por las 3 intervenciones que mayor porcentaje de impactos tuvieron. De igual manera, es importante tener claro cuáles son todas las intervenciones que causan dichos impactos identificados como claves (ver figura 2).

Figura 2. Cada una de las intervenciones que son causantes de los impactos identificados



Fuente: creación propia

7.3 Acciones para la restauración

Debido a que en el mundo el tema de la restauración de los ríos está siendo cada vez más estudiado y aplicado, gran cantidad de autores y entidades encargadas del manejo de los recursos fluviales en diferentes países, se han encargado de escribir manuales con prácticas, acciones y recomendaciones importantes para la implementación de planes de restauración.

Las referencias revisadas fueron:

- River Restoration Factsheets (The river restoration centre 2013)
- How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects (Morandi *et al.* 2014)
- Organización de la gestión del agua en Francia (Oficina Internacional del Agua 2009)
- Cómo conservar los ríos vivos: guía sobre los caudales ecológicos (O’Keeffe & Le Quesne 2010)
- “Restaurar Juntos” - guía metodológica para proyectos participativos de restauración de ríos (Sánchez *et al.* 2011)
- Stream habitat restoration guidelines (Saldi-Caromile *et al.* 2004)
- Stream Corridor Restoration: principles, processes, and practices (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 2001)
- Reference Guideline for Restoration by Eco-Compatible Approach in River Basin of Asia (Asian River Restoration Network 2012)
- Manual of River Restoration Techniques (The river restoration centre 2003)

- River restoration (Wohl *et al.* 2005)
- Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia (Vargas *et al.* 2012)
- River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges (Habersack & Piégay 2007)
- Standards for Ecologically Successful River Restoration (Palmer *et al.* 2005)

De acuerdo con la revisión hecha, las acciones que se deben tener en cuenta al momento de planear y ejecutar un proyecto de restauración se presentan a continuación:

1. Conocimiento de las características del río.
2. Identificación del problema y alcance de las consecuencias físicas y biológicas.
3. Identificación de las restricciones adyacentes.
4. Establecimiento de límites espaciales.
5. Conformación de un grupo asesor interdisciplinario.
6. Priorización y definición de metas y objetivos claros y realistas.
7. Planeación anticipada y coordinada.
8. Identificación y priorización de técnicas y tareas.
9. Establecimiento de un equipo técnico.
10. Análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del proyecto.
11. Monitoreo previo a la implementación del plan y recolección de datos.
12. Desarrollo de indicadores de desempeño.
13. Ejecución del proyecto (técnicas y tareas).
14. Monitoreo de indicadores de desempeño.
15. Seguimiento de actividades y tareas.
16. Monitoreo posterior a la implementación del plan.
17. Evaluación de los resultados del plan.
18. Documentación y comunicación de éxitos, fracasos y lecciones aprendidas.

Además de llevar a cabo las acciones anteriores, los autores hacen recomendaciones útiles que deben tenerse en cuenta al momento de planear la restauración, debido a que cada sistema fluvial posee características únicas que deben ser analizadas. Una de las recomendaciones más frecuentes hecha por los autores es la consideración de la escala, es decir, la mayoría de los autores son enfáticos en que los **proyectos de restauración fluvial deben hacerse sobre la cuenca y no localmente**, ya que cualquier cambio local puede resultar perjudicial aguas arriba o aguas abajo. Otra de las recomendaciones frecuentes tiene que ver con el monitoreo, ya que éste debe ser continuo y completo, es decir, debe realizarse antes, durante y después del proyecto. Una tercera recomendación que es común en casi todos los documentos revisados es el conocimiento de la historia del sistema fluvial en cuanto a las características físicas y ecológicas, y su transformación a través del tiempo, ya que es de vital importancia conocer cómo se ha transformado el sistema a través de los años para tener una idea de cómo podría llegar a reaccionar ante las intervenciones

necesarias para la restauración. Esta información se encuentra sintetizada en la Tabla 3.

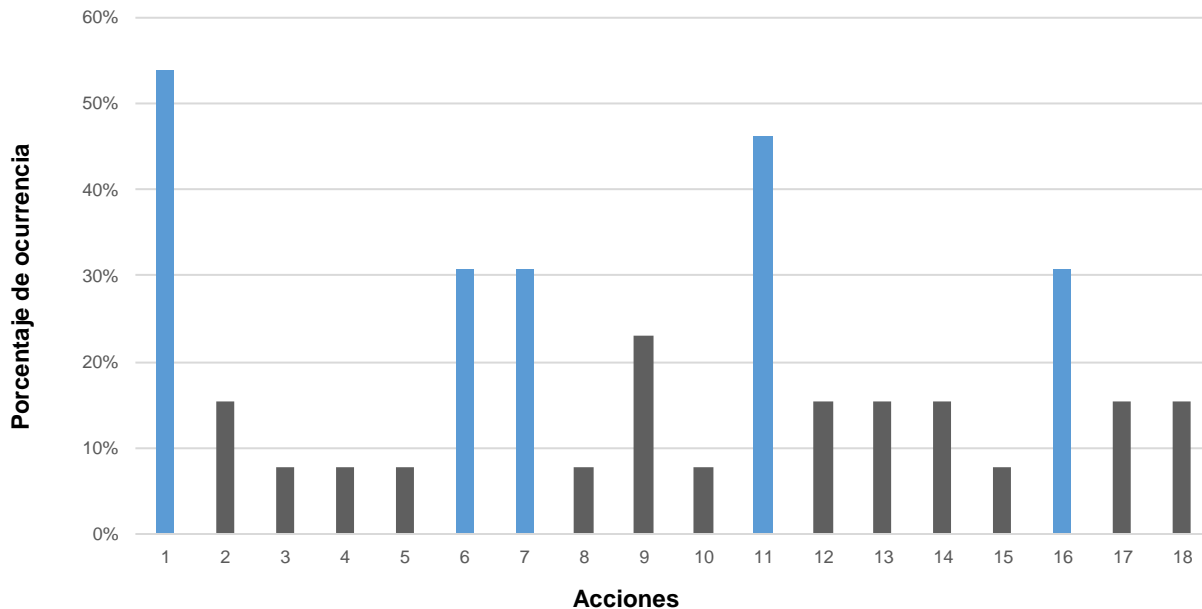
Tabla 3. Acciones y recomendaciones para lograr una restauración exitosa

ARTÍCULO O REPORTE	PASOS A SEGUIR																		RECOMENDACIONES PARA EL ÉXITO	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
River Restoration Factsheets (The river restoration centre 2013)	x	x	x																Restauración innovadora y única de acuerdo al caso. Considerarse a escala de cuenca. Incluir reconexión de llanuras de inundación. Creación de espacios heterogéneos y áreas de refugio.	
How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects (Morandi <i>et al.</i> 2014)							x				x						x	x	Claridad en los criterios de evaluación para definir el éxito. Monitoreo previo mayor a 2 años. Monitoreo posterior a largo plazo acorde a los objetivos de restauración.	
Organización de la gestión del agua en Francia (Oficina Internacional del Agua 2009)																			Gestión descentralizada. Enfoque integrado. Coordinación de acciones. Distribución clara de responsabilidades.	
Cómo conservar los ríos vivos: guía sobre los caudales ecológicos (O'Keeffe & Le Quesne 2010)							x												Voluntad social, económica y legal para la implementación de los proyectos.	
"Restaurar Juntos" - guía metodológica para proyectos participativos de restauración de ríos (Sánchez <i>et al.</i> 2011)											x								Participación pública como instrumento para la toma de decisiones.	
Stream habitat restoration guidelines (Saldi-Caromile <i>et al.</i> 2004)	x	x					x	x	x			x	x	x			x	x	Conocimiento del hábitat históricamente para tener claridad respecto al grado de cambio en el tiempo y si hubo variación en la tasa de cambio. Identificar la causa más que el síntoma del problema y planear a partir de esta.	
Stream Corridor Restoration: principles, processes, and practices (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 2001)				x	x					x		x					x		Conocimiento de características históricas del hábitat. Identificación de la escala sobre la que se quiere realizar el proyecto. Claridad de las condiciones del río que se desea obtener.	
Reference Guideline for Restoration by Eco-Compatible Approach in River Basin of Asia (Asian River Restoration Network 2012)	x											x							Comprender el entorno social y saber cómo las personas se han relacionado con el río. Hacer participe a la comunidad circundante desde la primera etapa.	
Manual of River Restoration Techniques (The river restoration centre 2003)	x						x	x		x		x					x		El monitoreo debe ser continuo.	
River restoration (Wohl <i>et al.</i> 2005)	x						x			x		x		x					Cuenca hidrográfica como unidad espacial apropiada para la restauración. Conocimiento de los procesos que ocurren dentro del canal (agua, sedimentos, materia orgánica, peces, etc.). Identificar la causa más que el síntoma del problema y planear a partir de esta.	
Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia (Vargas <i>et al.</i> 2012)	x							x				x						x	x	Aplicación de técnicas para la restauración de la estructura física y creación de hábitats dentro del canal.
River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges (Habersack & Piégay 2007)																				Considerarse a escala de cuenca. Retroalimentación de experiencias anteriores. Hacer planes orientados hacia la restauración de procesos naturales de morfodinámica. Tener en cuenta la historia geomorfológica y ecológica del río que se quiere restaurar.
Standards for Ecologically Successful River Restoration (Palmer <i>et al.</i> 2005)	x																		x	Tener en cuenta la historia geomorfológica y ecológica del río que se quiere restaurar. Usar sistemas de clasificación de corrientes para guiar la restauración.

Fuente: creación propia

Debido a que la Tabla 3 fue una construcción elaborada a partir de los estudios revisados, no todas las acciones identificadas son mencionadas en todos ellos. Sin embargo, algunas de estas acciones son mencionadas en mayor medida por los autores. Las acciones (1) Conocimiento de las características del río y la cuenca, (6) Priorización y definición de metas y objetivos claros y realistas, (7) Planeación anticipada y coordinada, (11) Monitoreo previo a la implementación del plan y recolección de datos y (16) Monitoreo posterior a la implementación del plan fueron las más frecuentes, como se puede observar en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Porcentaje de ocurrencia de acciones en la bibliografía



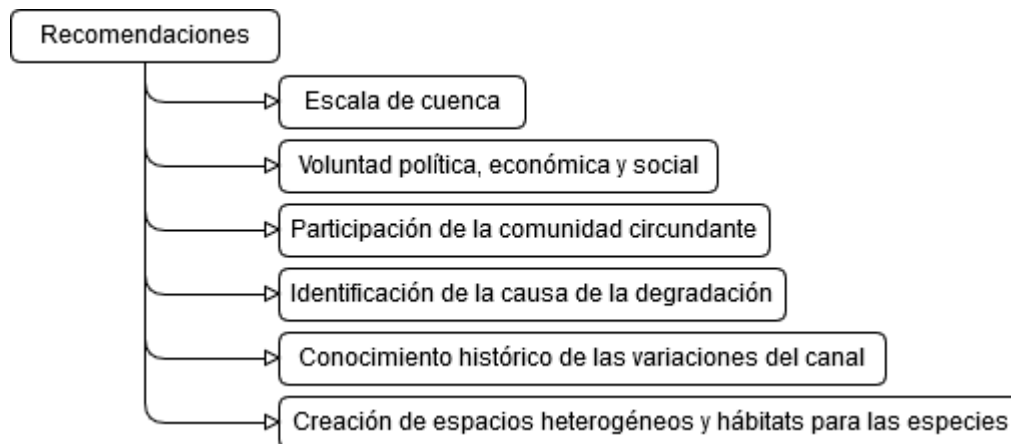
Fuente: creación propia

Es por lo anterior que se considera que cualquier plan de restauración debe contener por lo menos estas 5 acciones para ser aceptable y exitoso. Además de los anteriores, se considera que las acciones (13) Ejecución del proyecto (técnicas y tareas) y (18) Documentación y comunicación de éxitos, fracasos y lecciones aprendidas, son de vital importancia, en específico el último, debido a la pertinencia de la revisión de casos de restauración anteriores para la implementación del plan propio.

Es importante tener en cuenta también que cada autor hace recomendaciones que, en su criterio, son importantes para tener en cuenta. En la figura 3 se evidencian aquellas recomendaciones que fueron relevantes entre los autores.

Figura 3. Recomendaciones relevantes dadas por los autores para la implementación

de un plan de restauración fluvial



Fuente: creación propia

7.4 Esfuerzos necesarios para la restauración en la cuenca

En este proyecto se emplea la definición de restauración dada por Wohl *et al.* (2005) y Addy *et al.* (2016) quienes la definen como la recuperación de la integridad ecológica mediante el restablecimiento de los procesos físicos naturales, características y hábitats de un sistema fluvial. Esto con el objetivo de apoyar el ecosistema natural de la cuenca, pero sin intentar llegar a una restauración “completa” en donde el ecosistema vuelva a su estado prístino, debido a las limitaciones técnicas y sociales. Lo que se busca es fomentar procesos naturales para crear un hábitat físico dinámico, autosostenible y característico que induce la recuperación biológica y restablece los beneficios de los que dependen los humanos. La elección de esta definición se hizo debido a que el Río Bogotá es un afluente que se ha intervenido a lo largo de toda su historia, y que se encuentra altamente modificado por la ciudad de Bogotá, la cual conforma casi 1/3 de la longitud del río, además de actividades económicas de importancia para el país que se desarrollan en otras áreas de la cuenca, por lo que es imposible pensar que se puede devolver a un estado completamente original.

Considerando que, para cada fase se hizo un análisis y se determinaron componentes clave, una propuesta de restauración debería incluir dichas intervenciones, sus impactos, acciones y recomendaciones identificadas como de mayor relevancia. Esto no sólo porque presentan una frecuencia mayor a las demás, sino porque están relacionadas con las demás fases y por esto se consideran de importancia. Según el análisis realizado, los aspectos para tener en cuenta son los siguientes:

Intervenciones¹:

- (6) Construcción de desembarcadero de carbón sobre el cauce del río.
- (7) Captación de aguas del río por medio de cuatro bombas tipo tornillo.
- (8) Bombeo de aguas del río.
- (9) Dragado del río para la construcción de una dársena, rectificación del río, construcción de compuertas y bocatoma, captación y bombeo de agua del río.
- (10) Rectificación, dragado y ampliación del cauce del río.
- (12) Dragado, construcción de jarillones y descapote.

Impactos²:

- Afectación de las características físicas, químicas y biológicas a largo plazo.
- Alteración del patrón del canal.
- Aumento del ancho del canal.
- Erosión aguas arriba (*Knickpoints*).
- Pérdida de recursos de aguas subterráneas.
- Pérdida de vegetación ribereña.
- Variación del caudal del río y el régimen de sedimentos.

Acciones³:

- (1) Conocimiento de las características del río y la cuenca.
- (6) Priorización y definición de metas y objetivos claros y realistas.
- (7) Planeación anticipada y coordinada.
- (11) Monitoreo previo a la implementación del plan y recolección de datos.
- (13) Ejecución del proyecto (técnicas y tareas).
- (16) Monitoreo posterior a la implementación del plan.
- (18) Documentación y comunicación de éxitos, fracasos y lecciones aprendidas.

Recomendaciones

- Considerar la escala de cuenca.
- Voluntad política, económica y social.
- Participación de la comunidad circundante.
- Identificación de la causa de la degradación.
- Conocimiento histórico de las variaciones del canal.
- Creación de espacios heterogéneos y hábitats para especies.

De acuerdo con todo lo anterior, el Río Bogotá ha sufrido una degradación constante, donde las intervenciones probablemente han ocasionado impactos que se han venido acumulando con el transcurso de los años y las nuevas intervenciones. Esto ha causado que, el río, además de la, ya conocida, problemática por contaminación, presente una importante degradación asociada a los procesos morfológicos que han sido alterados a partir de obras ingenieriles y de desarrollo, como lo son todas las intervenciones identificadas.

¹ La numeración corresponde a la asignada en la Tabla 1 para cada intervención. Las intervenciones que se encuentran subrayadas son las que fueron identificadas con mayor número de impactos.

² Los impactos que se encuentran subrayados son los que fueron identificados como más frecuentes.

³ La numeración corresponde a la asignada en la página 24.

Se propone que para dar solución a esta problemática se realicen esfuerzos de restauración orientados a la aplicación de técnicas para lograr procesos morfodinámicos equilibrados, a través de la implementación de estrategias y planes organizados e interdisciplinarios, que sean producto de la revisión y análisis de experiencias anteriores de restauración fluvial, para así evitar cometer errores que ya han sido identificados previamente en otros lugares. A continuación, se hace una propuesta de los esfuerzos teóricos que se deben hacer para la restauración del río Bogotá, buscando entrelazar los aspectos identificados como importantes y mencionados anteriormente.

ESFUERZOS⁴ NECESARIOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ – PROPUESTA

I. Conocimiento de las características del río y la cuenca

En este primer paso se debe enfocar en el conocimiento histórico del canal del río y la cuenca. Se deben tener en cuenta las intervenciones identificadas como de mayor relevancia, en especial las intervenciones 9, 10 y 12, que tienen en común la actividad de dragado, rectificación y ampliación del canal. Lo anterior permite tener una visión amplia de la transformación del río y de las causas de la degradación.

Recomendación adicional: realizar una línea del tiempo o catálogo más riguroso de todas las intervenciones físicas sobre el río, así como estudios arqueológicos que permitan conocer cómo era el cauce del río y sus dinámicas antes de las intervenciones y evaluar la presencia de especies vegetales y animales, tanto dentro del canal como a su alrededor para desarrollar espacios óptimos para sus hábitats y nichos. Es de gran importancia ampliar al máximo el conocimiento de la cuenca para desarrollar acciones sobre esta.

II. Priorización y definición de metas y objetivos claros y realistas

A partir de los impactos identificados se deben priorizar objetivos y acciones para la restauración de las características que podrían estar viéndose afectadas. Dichos objetivos y metas deben ser ambiciosos pero realistas, y estar direccionados hacia el restablecimiento del equilibrio entre la velocidad, el régimen de sedimentos, la estabilidad de los bordes y la conexión con los ecosistemas alrededor (bosque ripario, humedales⁵, llanuras de inundación, áreas para los hábitats). Una meta que debe ser común en esta cuenca es vincular los ríos y cuerpos de agua al paisaje y la vida de los habitantes (ver ejemplo en Temperton *et al.* 2014).

⁴ Como se mencionó, el trabajo sólo incluye los aspectos que han afectado el río desde el punto de vista físico y geomorfológico en el tramo analizado, por lo cual en cada punto se proporcionan principalmente ejemplos de acuerdo a lo estudiado en este trabajo.

⁵ Como por ejemplo la Laguna de la Herrera. Siendo el humedal más grande de la sabana, sería de gran valor ecológico su recuperación y control de vertimientos, para buscar la reconexión con el río.

III. Planeación anticipada y coordinada

Debe haber un ente encargado de la planeación, coordinación e implementación del plan, que para el caso del Río Bogotá es el Concejo Estratégico de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá – CECH. Éste debe tener la capacidad de definir claramente tareas y responsabilidades, hacer seguimiento del cumplimiento de los objetivos y coordinar los diferentes actores que participan en el plan (actualmente la CAR cumple este papel). Es importante que dentro de la planeación se tengan en cuenta los factores adyacentes, es decir, las comunidades que habitan cerca del área, las condiciones políticas, los recursos económicos para llevar a cabo el plan, entre otras. Teniendo en cuenta que el Río Bogotá abarca varios municipios, un factor clave que se debe tener en cuenta dentro de la planeación, es la voluntad política de cada municipio para contribuir al desarrollo del plan y el mantenimiento de las condiciones restauradas⁶.

IV. Monitoreo previo a la implementación del plan y recolección de datos

Este es un paso importante para llevar la teoría a los datos reales. Para poder realizar una caracterización meticulosa de las condiciones del río, debe hacerse un monitoreo riguroso, con por lo menos 2 años de anticipación al proyecto. Éste debe incluir datos por lo menos de sedimentos (tipos de sedimento y arrastre), profundidad del canal, caudal, descargas y ancho del canal. También se deben establecer metodologías de estudio y seguimiento de las características físicas en ecosistemas similares ubicados en diferentes lugares, con el fin de disponer de información ecológica que permita ampliar la poca experiencia que se tiene en el país.

Recomendación adicional: Establecer puntos fijos de monitoreo de estas y otras variables con el fin de poder tener datos para futuros estudios. Dichos datos deben ser de fácil acceso (on-line) y públicos para que los ciudadanos y entidades interesadas puedan informarse.

V. Ejecución del proyecto (técnicas y tareas)

Éste es un tema que depende del diseño que se haya realizado a partir de las acciones anteriores. Es importante que se lleven a cabo las tareas planeadas, en los plazos propuestos y con las técnicas planteadas en el diseño del proyecto. Para esto, la ejecución debe estar constantemente supervisada por el ente regulador, y debe intentar ajustarse fielmente a los plazos y recursos económicos dispuestos para la elaboración del mismo. La información sobre los avances y desarrollo del proyecto debe ser, periódicamente, comunicada de forma transparente a los ciudadanos.

VI. Monitoreo posterior a la implementación del plan

⁶ Los municipios que hacen parte de la cuenca pueden contribuir con la recuperación de los afluentes que pasan por sus territorios y desembocan en el Río Bogotá, además de otras áreas de importancia como zonas de recarga hídrica, zonas de erosión, entre otras.

Este paso es importante para definir si se cumplieron los objetivos de restauración y hacer conciencia de los errores y problemas ocurridos durante la planeación y ejecución del plan, con el fin de lograr un adecuado aprendizaje. Se deben monitorear las mismas condiciones a las que se les hizo seguimiento antes de comenzar el proyecto y en los mismos puntos donde se realizaron, con el objetivo de obtener datos confiables. Si existen bases fijas de monitoreo de dichas condiciones, éste paso será más sencillo y los datos serán confiables, además de que se podrá ir construyendo un repositorio de información para futuros proyectos.

VII. Documentación y comunicación de éxitos, fracasos y lecciones aprendidas

Más que un paso a seguir, esto debe ser un hábito, debido a que permite recoger los éxitos, las técnicas y las oportunidades de mejora que se pudieron identificar a lo largo de toda la experiencia de restauración. Es importante que esto se haga de forma sincera y objetiva, ya que sirve de referente para futuros planes y proyectos, no sólo de restauración, sino también de manejo y gestión de la cuenca. Además, es de gran valor que esta información sea difundida y de fácil acceso para la ciudadanía en general y cualquiera que esté interesado en conocer del tema, generando también formatos cortos y de fácil entendimiento, ya que así se podría generar un mayor acercamiento de diferentes públicos.

8. Discusión

Este proyecto realizó un esfuerzo por esbozar una metodología empírica para la implementación de un plan que busque la restauración integral de la cuenca del río Bogotá, de manera que complemente los modelos de ingeniería y ecología sobre dinámica de sistemas fluviales. Se realizó con el objetivo de hacer énfasis sobre cómo los impactos físicos/geomorfológicos han tenido y siguen teniendo un muy fuerte impacto sobre las características ecológicas del ecosistema fluvial del río Bogotá, ya que éstos no son tenidos en cuenta normalmente para la planeación y elaboración de proyectos, representando así oportunidades importantes de mejora para el aprendizaje que debe hacer el país.

Fue además un esfuerzo por dar luces sobre la pertinencia de este tipo de intervenciones y focalizar un tema en el que la falta de información ha generado un olvido colectivo. Cada vez con mayor fuerza, las sociedades han empezado a preocuparse por las intervenciones que se hacen sobre los sistemas naturales para implementar proyectos de desarrollo, y en el caso específico de los sistemas fluviales, los debates alrededor de la implementación de proyectos como hidroeléctricas y de minería se han llegado a tornar radicales, incluso cuando dichos proyectos no tienen influencia directa en el territorio propio. Esto ha generado que los ciudadanos expresen opiniones sobre proyectos que se desarrollan en otras partes del territorio colombiano, pero olviden e ignoren los ríos de las ciudades donde habitan, por la transformación que ya han sufrido dichos canales, viéndolos simplemente como caños de aguas negras y no como

ecosistemas que en algún momento tuvieron vida. En estos casos, como es el del río Bogotá, las preocupaciones han estado centradas en una problemática asociada a la calidad del agua, pero no a las perturbaciones periódicas e históricas que estos han soportado hasta la actualidad. Sería acertado que los esfuerzos estuvieran enfocados en el aprendizaje sobre esta disciplina de la restauración fluvial integral y de la cuenca, para así lograr que el manejo futuro de nuestros ríos y sus cuencas se haga de manera sostenible.

Los resultados de este estudio indican que el Río Bogotá ha sufrido diferentes tipos de impactos a partir de intervenciones que se han realizado a lo largo de los años sobre su cauce y alrededor de este, y que no obedecen exclusivamente a los vertimientos de aguas negras. Por esto es de gran relevancia que el manejo de su cuenca, tenga en cuenta los aspectos morfodinámicos de este sistema fluvial y que se considere la planeación y ejecución de proyectos de restauración para darle una mejor solución a los problemas de degradación.

En Colombia el instrumento de ordenación y planeamiento del uso y manejo sostenible de las cuencas y sus recursos naturales renovables es el POMCA (Planes de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca). Al momento de tomar decisiones, éste es de mayor cobertura que los POT (Planes de Ordenamiento Territorial), ya que incluye diferentes territorios (MinAmbiente 2014). Actualmente la cuenca del Río Bogotá cuenta con un POMCA realizado en el año 2006 por la CAR, y basado en el decreto 1729 de 2002 y en la Guía Técnico Científica para la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas en Colombia, publicada en el año 2004 por el IDEAM. Esta guía establece estatutos sobre lo que debe contener cualquier POMCA, incluyendo la identificación de los actores involucrados y sus intenciones, la caracterización de las causas del problema, la recopilación de información, la descripción de los escenarios futuros deseados, los procedimientos para la ejecución del plan, y estrategias de evaluación y seguimiento. A pesar de ser una guía muy completa y con una explicación clara para cada uno de sus módulos, de acuerdo con los resultados de este trabajo, faltan varios componentes clave dentro de ésta, como lo son la revisión histórica de la cuenca y la comunicación asertiva de los éxitos, fracasos y lecciones del plan.

La actualización del POMCA del Río Bogotá aún se encuentra en construcción, a pesar de haber sido uno de los mandatos dados por la Sentencia emitida por el Concejo de Estado en el año 2014 y para lo que se tenía un plazo máximo de publicación de 2 años. Al revisar el contenido de este plan, es evidente que se hizo una descripción amplia de diferentes aspectos de la cuenca como la geografía, la geomorfología, los suelos y sus usos, la fauna y flora, y aspectos socioeconómicos. Sin embargo, el contexto histórico es pobre y no existe una sección en donde se describan intervenciones sobre la cuenca y el canal, y los impactos provocados. No es posible saber a través de este documento cómo ha sido la historia y el cambio de la cuenca a través de los años, ya que la mayoría de los datos cuantitativos se dan de forma total y no discriminada por años o épocas. Esto es relevante porque estos datos ayudan a “identificar las características y procesos que se esperarían de forma natural (...) e identificar alcances de

referencia” (Addy *et al.* 2016) que son de gran utilidad para predecir el futuro de la cuenca. Además, los medios de transmisión y comunicación del seguimiento y los resultados que ha tenido este plan no son suficientemente eficaces como para llegar a diferentes públicos, ya que son extensos, están escritos en un vocabulario técnico y se encuentran desactualizados (las últimas actas de avance del plan son del año 2014)⁷.

Actualmente la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR realiza el proyecto de “*Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental*” del río Bogotá, el cual tiene como objetivo “reducir la población vulnerable a la amenaza por desbordamiento del río Bogotá, incrementar la cobertura vegetal nativa, rehabilitar los ecosistemas nativos característicos del área del proyecto, mejorar e integrar áreas multifuncionales a lo largo del río, mejorar la calidad del agua y realizar una integración urbano-paisajística en los espacios públicos” como un intento de rehabilitación ecológica, definida por ellos como “aquella en donde se busca llevar un sistema degradado a un sistema que puede ser o no similar al predisturbio. Luego de la rehabilitación el sistema debe ser autosostenible, preservar las especies y el ecosistema en general. A su vez, un sistema rehabilitado puede prestar otros servicios tales como: recreación pasiva, regulación hídrica, regulación de la erosión y almacenamiento de la materia orgánica (captura de carbono), entre otros” (CAR & FIAB 2012).

Las actividades principales desarrolladas a partir de dicho plan son: la descontaminación del agua a través de plantas de tratamiento, el dragado del canal para la ampliación y profundización del mismo, el descapote de la cobertura vegetal en las orillas, la construcción de una berma, la construcción de jarillones para evitar inundaciones, la plantación de árboles y arbustos (detrás de los jarillones), la construcción y rehabilitación de humedales y la construcción de áreas multifuncionales a lo largo del río. Parte de las actividades anteriores, actualmente se encuentran desarrolladas y las otras están en desarrollo. Estas prácticas son denominadas por Perez & Tschinkel (2003) como tecnologías estándar, que en su mayoría responden a intereses agrícolas y domésticos.

Lo anterior, permite visualizar que los esfuerzos por recuperar el río están enfocados localmente y en los ecosistemas paralelos al río (cobertura vegetal y humedales), que puedan ser aprovechados por los ciudadanos. Pero no se plantean estrategias a escala de cuenca y que incorporen la rehabilitación de las características fluviales que son de vital importancia para la recuperación y el mantenimiento de la estructura del ecosistema ribereño, como la velocidad del caudal, la heterogeneidad en las corrientes, la temperatura del agua, la futura generación de hábitats para especies acuáticas, y la recuperación de la dinámica del río que per se, disminuiría la necesidad de intervenciones como la creación de jarillones de mayor magnitud cada vez, entre otras.

⁷ Ver en la página del Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá -Orarbo: <http://orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/resultado-busqueda?titulo=&clasificacion=318e76913d0de0e6458990e695318c7b&componentes=+&entidad=55aa0f6ee9bdd5a2fcb3c640306afddf&cuenca=&rafluente=&municipio=&lr=Buscar>

Esto está en concordancia con lo planteado por Palmer *et al.* (2005), quienes afirman que “Proteger la infraestructura y crear parques son actividades importantes, pero no constituyen una restauración ecológica y, de hecho, en realidad degradan los cursos de agua cercanos. Por ejemplo, los proyectos de revitalización a orillas del río pueden ser exitosos para aumentar la actividad económica y social cerca de un río y una llanura de inundación (...) pero no apropiado para las condiciones geomorfológicas locales. Por lo tanto, los proyectos etiquetados como éxitos en este tipo de restauraciones no deben asumirse como éxitos ecológicos”.

Es importante resaltar que el plan adelantado por la CAR incorporó estrategias importantes para la dinámica del río como la berma que actúa como llanura de inundación y la construcción y recuperación de humedales que piensan ser reconectados en un futuro con el canal, sin embargo, Saldi-Caromile *et al.* (2004) sostienen que “Las medidas de rehabilitación que sólo tratan el síntoma del problema y no la causa, proporcionarán sólo un beneficio a corto plazo y es probable que deba repetirse periódicamente para proporcionar un beneficio continuo a largo plazo”, lo que hace las intervenciones no sostenibles. Probablemente, este sea uno de los aportes más importantes de este trabajo y una importante oportunidad de mejora para el proyecto de “*Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental*” del río, en aras de lograr mejores resultados.

Uno de los requisitos fundamentales para la construcción y ejecución de un plan de restauración que sea exitoso es el conocimiento detallado e histórico de las características físicas y bióticas del mismo y los cambios que ha sufrido a través del tiempo, por lo que el acceso a bases de datos completas y de antigüedad es vital. Surian & Rinaldi (2003) y Pinter *et al.* (2010) concuerdan con que la revisión pertinente para lograr definir los cambios en un canal debe ser de datos con al menos 100 años de antigüedad. A pesar de esto, para el caso del río Bogotá, las bases de datos se conforman de mediciones de caudal, precipitación, velocidad del viento, temperatura del aire y nivel de altura del agua, tomadas por estaciones de medición y funcionarios cada cierto tiempo. Muchas de las estaciones no se encuentran funcionando en la actualidad y, en ocasiones, los funcionarios dejan de tomar registro, por lo que dichas bases de datos pueden resultar poco confiables e intermitentes y por ende no permiten tener una visión rigurosa y amplia de las características del río, para lo que se considera que mejorar la toma y las bases de datos, estaría constituyendo una oportunidad de mejora.

Además de lo anterior, el Río Bogotá se encuentra regulado y monitoreado por diferentes instituciones (CAR, IDEAM, Distrito Capital, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, etc.), donde cada una hace mediciones, planea y ejecuta de manera independiente. Esto va en contra vía con lo planteado en la literatura consultada, y por lo tanto en este proyecto, ya que un liderazgo político que integre las partes interesadas y coordine las dimensiones técnicas, económicas, sociales, políticas y culturales es esencial para el manejo organizado de la cuenca y el almacenamiento de los datos, tal como lo resalta Debnath (2016). Lo anterior

demuestra una gran dificultad tanto en el gobierno como en la gobernanza del recurso hídrico, la que afecta la toma de decisiones y la continuidad de los procesos.

De igual manera, en el país el recurso hídrico nacional es controlado por diferentes instituciones (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM, CAR, municipios, empresas de acueducto, etc.), que están encargadas de manejar muchos otros temas, y por ende los esfuerzos enfocados hacia los ecosistemas fluviales se ven restringidos. Otros países cuentan con instituciones gubernamentales dedicadas exclusivamente al manejo de ecosistemas fluviales, como es el caso de Tailandia, que cuenta con un Departamento del Recurso Hídrico (*Department of Water Resource*) o la región de Taichung en China que posee el Instituto de Planeación de Recursos Hídricos (*Water Resources Planning Institute*). Tal vez sería pertinente que en Colombia se tomaran medidas similares, donde se concentrara el manejo y la toma de decisiones sobre los sistemas hídricos y sus ecosistemas circundantes en una institución dedicada exclusivamente a esto, debido a la gran cantidad de dicho recurso que poseemos como nación (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 2015) y la degradación continua que sufre este recurso natural de gran importancia.

A pesar de la aparente gran abundancia de agua y sistemas fluviales que poseemos como país, su relación con la población, sobre todo urbana, ha sido y es distante, ocasionando el olvido y la asociación errónea de las canalizaciones como caños caracterizados por estar contaminados, invadidos de basura y presentar episodios de desbordamiento que conducen al caos en las calles y casas aledañas. Esto causa que estas corrientes se cataloguen como problemáticas y no como un elemento del paisaje urbano que podría estar armonizándolo, proporcionándole vitalidad, y aumentando la calidad de vida de los ciudadanos, aspecto que está siendo cada vez más abordado alrededor del mundo, devolviendo e integrando dichos cauces a la dinámica de la ciudad de manera positiva.

9. Conclusiones y recomendaciones

El Río Bogotá ha sido fuertemente intervenido desde épocas muy antiguas, para adaptarlo a las necesidades que fueron surgiendo con el crecimiento de la ciudad de Bogotá y los demás municipios que comparten su cuenca. Los impactos ocasionados por dichas intervenciones podrían haber ocasionado un efecto acumulativo, que no ha sido evaluado adecuadamente, ya que éstas ocurrieron de forma periódica.

La restauración puede ser una alternativa de solución a la fuerte degradación que actualmente presenta el río, y ésta debe seguir parámetros ya establecidos por instituciones de diferentes partes del mundo, que han realizado proyectos exitosos de restauración de sistemas fluviales. El proyecto que actualmente se realiza

sobre la cuenca media del río, está focalizado en la rehabilitación del ecosistema aledaño de manera paisajística y con propósitos de recreación, en el tratamiento de la calidad del agua y en la adecuación hidráulica para prevenir inundaciones mediante el levantamiento de jarillones, dejando de lado las condiciones físicas y los aspectos ecológicos del cuerpo de agua que necesitan ser estudiados y luego restaurados para que este afluente vuelva a un estado de equilibrio y pueda prestar servicios ecosistémicos.

La restauración de ríos es aún muy reciente, lo que se comprobó en la revisión bibliográfica, que presenta discusiones entre expertos y revisiones de experiencias. Particularmente se apreció en detalle durante la recopilación de acciones para la restauración, donde se puede observar que no hay todavía un consenso claro y definitivo de lo que debería estar incluido en la planeación de proyectos de restauración fluvial. Es claro que muchos de los impactos que causan degradación de los ríos alrededor del mundo son consecuencia de obras de ingeniería realizadas tiempo atrás, por lo que se hace necesaria la articulación entre profesionales en temas ingenieriles, con los de ciencias biológicas, ambientales y sociales para lograr consolidar proyectos de desarrollo que sean menos agresivos con los sistemas fluviales y sus dinámicas o para lograr la rehabilitación adecuada.

Se recomienda que, para estudios posteriores, las instituciones encargadas mejoren la calidad, cantidad y diversidad de mediciones de las características del río y de los estudios de la cuenca en general. Esto permitiría realizar otros estudios con la adecuada rigurosidad sobre las condiciones del mismo y proyectar los efectos de las intervenciones posteriores. Además, dichos estudios podrían ser de gran utilidad para determinar la dinámica del río, y así, planear mejor las intervenciones necesarias para la restauración y de los asentamientos humanos en zonas que no presenten conflictos con las dinámicas de inundación de este, pero que sean áreas de real importancia ecológica y, que a la vez, proporcionen recreación.

También sería interesante que, para proyectos de desarrollo futuros, se realizaran estudios donde se analice la relación de costo-beneficio que las intervenciones podrían provocar, con el fin de conocer cuál podría llegar a ser el costo ambiental que éstas podrían llegar a causar.

Finalmente se recomienda como oportunidad de mejora para el proyecto de "*Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental*", la implementación de un monitoreo de las condiciones físicas del río y el canal, tales como la arqueología de la huella del canal y de las zonas de inundación, la estabilidad del canal, el tipo de sedimento, la velocidad del agua y la profundidad del canal durante el desarrollo de lo que queda del proyecto. Además, se sugiere que para la "*recuperación ambiental*" se tenga en cuenta estudios donde se hayan analizado y restaurado condiciones similares a las que presenta el proyecto, y que se estudie el objetivo a largo plazo de la implementación de áreas heterogéneas dentro del canal para la proliferación y sobrevivencia de especies animales acuáticas.

En síntesis, en este proyecto se identificaron oportunidades de mejora, ampliando los estudios sobre las intervenciones físicas/geomorfológicas, y en integración ecológica tanto en la zona del río, como de la cuenca, que pueden llevar el proyecto a que el río se restaure y preste servicios ecosistémicos de mayor magnitud para esta y las siguientes generaciones, haciendo sostenibles las intervenciones, en especial en control de inundaciones.

Definitivamente, el país debe aprender del pasado de sus ríos y cuencas, y de las experiencias vividas en proyectos que se han realizado o que se encuentran en curso alrededor del mundo, pues se requerirá recuperar los ríos y sus cuencas con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico, y a la vez, el desarrollo requerirá que los cuerpos de agua se gestionen de una manera diferente.

Esta disciplina de gestión de ríos y cuencas que busca estar en coherencia con las dinámicas de dichos sistemas, pero también permite el desarrollo, la gestión del uso del recurso, los vertimientos, la calidad del agua, la dinámica de los ríos y las cuencas, no se ha desarrollado en el país y requiere de esfuerzos de los centros académicos, de investigación y del Estado. Así mismo, es necesario estudiar las entidades que actualmente están relacionadas con la gestión del recurso, con el fin de modificar los esquemas de Gobierno y la gobernanza del agua.

10. Referencias citadas

- Acuña, V., Alcatraz, C., Armengol, J., Artigas, J., Benejam, L., Benito, J., Bonada, N., Butturini, A., Camacho, A., Díez, J., Donnato, J.C., Elosegi, A., Feijoó, C., Gracia-Berthou, E., Gaudes, A., Giorgi, A., Gómez, N., González, J.M., González, E., Graça, M., Gaush, H., Izagirre, O., Martí, E., Mateo, P., Menéndez, M., Molinero, J., Muñoz, I., Naspleda, J., Pascoal, C., Pozo, J., Rodrigues-Capítulo, A., Romaní, A., Sabater, F., Sabater, S., Serra, A., Tomanova, S., Vila, A. & Zamora, L. (2009) *Conceptos Y Técnicas En Ecología Fluvial*, Rubes Edit (eds A Elosegi and S Sergi). Fundación BBVA, Bilbao, España.
- Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., Byg, A. & Holstead, K. (2016) *River Restoration and Biodiversity*. International Union for the Conservation of Nature IUCN.
- Allan, J.D. (2004) Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **35**, 257–284.
- Allan, J.D. & Castillo, M.M. (2007) *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*, 2nd ed. Springer.
- Asian River Restoration Network. (2012) *Reference Guideline for Restoration by Eco-Compatible Approach in River Basin of Asia* (eds J Sago, I Masafumi, K Goto, S Numata, T Kimura, and A Wada). Riverfront Improvement and Restoration.
- Ayivor, J.S. & Gordon, C. (2012) Watershed disturbance and its potential effects on

- river systems in the Okyeman traditional area of Ghana: The case of Atewa Range Forest Reserve. *West African Journal of Applied Ecology*, **20**, 97–108.
- Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Follstad-Shan, J., Galat, D.L., Gloss, S., Goodwin, P., Hart, D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G.M., Lake, P.S., Lave, R., Meyer, J.L., O'Donnell, T.K., Pagano, L., Powell, B. & Sudduth, E. (2005) Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science, New Series*, **308**, 636–637.
- Bertrand, C., Franquet, E., Chomérat, N. & Cazaubon, A. (2004) An approach to the Intermediate Disturbance Hypothesis at the landscape scale: the effects of hydrodynamic disturbance on phytoplankton communities. *Archiv für Hydrobiologie*, **161**, 351–369.
- Boada, A.M. (2006) *Patrones de Asentamiento Regional Y Sistemas de Agricultura Intensiva En Cota Y Suba, Sabana de Bogotá (Colombia)* (ed S Arcila). Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales.
- Camporeale, C., Perucca, E., Ridolfi, L. & Gurnell, A.M. (2013) Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics*, **51**, 379–414.
- CAR. (2006) Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá. , 104.
- CAR. (2012a) *Adecuación Hidráulica Y Recuperación Ambiental: Evaluación Ambiental Y Plan de Gestión Ambiental. Volumen I-Estrategia Regional*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR. (2012b) Adecuación hidráulica y recuperación ambiental del Río Bogotá.
- CAR. (2012c) *Adecuación Hidráulica Y Recuperación Ambiental: Evaluación Ambiental Y Plan de Gestión Ambiental. Volumen II-Evaluación Ambiental*.
- CAR. (2012d) *Adecuación Hidráulica Y Recuperación Ambiental: Evaluación Ambiental Y Plan de Gestión Ambiental. ANEXOS*.
- CAR & FIAB. (2012) *Documento Técnico Proyecto: "Adecuación Hidráulica Y Recuperación Ambiental Río Bogotá" - Capítulo 7 : Componente Biótico*. Bogotá D.C.
- Cardale de Schrimppf, M. (2014) Sylvia Broadbent: una mujer polifacética. *rca*, **50**, 163–170.
- Castillo, M. & Lugo-Hubp, J. (2011) Estado actual del conocimiento, clasificación y propuesta de inclusión del término knickpoint en el léxico geológico-geomorfológico del español. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **63**, 353–364.
- Consejo de Estado. (2014) Sentencia 28 de marzo de 2014. , Expediente número: AP-25000-23-27-000-2001-90479-0.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2004) Documento Conpes 3320. Estrategia para el Manejo Ambiental del Río Bogotá. , 45.
- Contraloría de Bogotá D.C. (2005) Evaluación del nuevo sistema de tratamiento del Río Bogotá D.C.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (1973) *Proyecto de Dragado Y Ampliación Del Cauce Del Río Bogotá Zona Tibito - Sesquilé*. Bogotá D.C.
- DAMA. (2004) Proyecto de Descontaminación y Recuperación de la Cuenca del

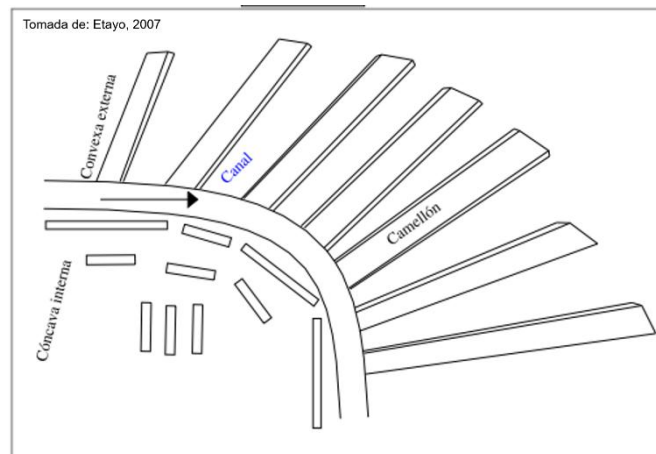
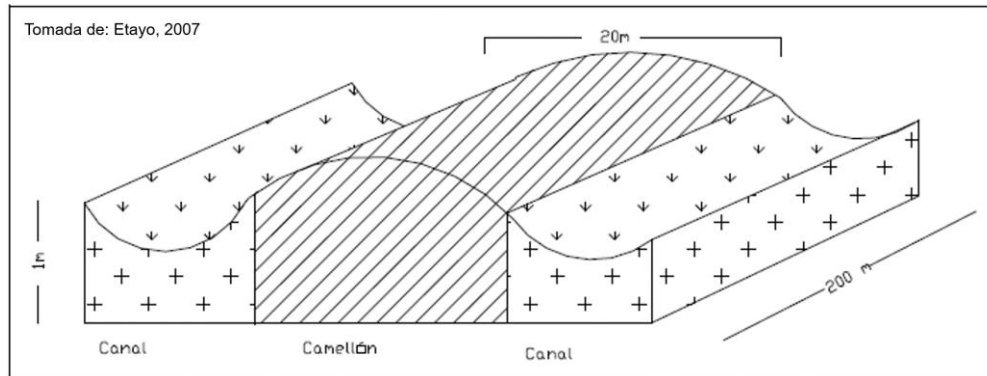
- Río Bogotá. , 6.
- DAMA. (2005) Tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bogotá.
- Debnath, R. (2016) A review of the sustainability of recent watershed management programmes in Bangladesh. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, **21**, 152–161.
- Dewan, A., Corner, R., Saleem, A., Rahman, M.M., Haider, M.R., Rahman, M.M. & Sarker, M.H. (2017) Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data. *Geomorphology*, **276**, 257–279.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. & Chávez, G. (2002) *Gestión Del Agua a Nivel de Cuencas: Teoría Y Práctica*. Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Dudgeon, D. (2008) *Tropical Stream Ecology*. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- ECOFORREST LTDA. (2005) Elaboración del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca – 2120-13.
- Ellery, W. & McCarthy, T. (1998) Environmental change over two decades since dredging and excavation of the lower Boro River, Okavango Delta, Botswana. *Journal of Biogeography*, **25**, 361–378.
- Elliott, S. (2010) *El Río Y La Forma: Introducción a La Geomorfología Fluvial*. RIL editores, Santiago de Chile.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (1968) *Historia Del Agua En Bogotá*. Antares-Tercer Mundo, Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2003) *El Agua En La Historia de Bogotá*, Segunda Ed (ed JD Giraldo). Villegas editores, Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Conservación Internacional - Colombia. (2003) *Los Humedales de Bogotá Y La Sabana* (ed S Cárdenas). Bogotá D.C.
- Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá & Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (1985) *Río Bogotá*. Benjamín Villegas & Asociados, Bogotá D.C.
- Encalada, A. (2010) Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polémika*, **5**, 40–47.
- European Centre for River Restoration. (2000) *River Restoration in Europe: Practical Approaches* (eds HJ Nijland and JR Cals). Institute for Inland Management and Waste Water Treatment, Wageningen, Países Bajos.
- Etayo Cadavid, M.F. (2007) Evolución morfológica del río Bogotá durante la parte superior del Holoceno entre los municipios de Cota y Soacha (Sabana de Bogotá) y su relación con los “camellones” prehispánicos. , 71.
- Gomez Cajiao y Asociados CIA. LTDA. (1981) *Rectificación Del Río Bogotá: Sector Río Juan Amarillo-Alicachín*. Bogotá D.C.
- Habersack, H. & Piégay, H. (2007) River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges. *Developments in Earth Surface Processes*, pp. 703–735.
- Van der Hammen, T. (1998) *Plan Ambiental de La Cuenca Alta Del Río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá D.C.
- Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. (2007) *Methods in Stream Ecology*, 2nd ed.

- HMV Ingenieros. (2003) Diseño de las obras para la protección contra las inundaciones del río Bogotá en el sector Alichachín-La Conejera. *Estudio de Actualización del Plan Maestro de Alcantarillado de las Cuencas Salitre y Jaboque*, p. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Bogotá D.C.
- IDEAM. (2004) *Guía Técnico Científica Para La Ordenación de Cuencas*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2015) *Colombia Anfibia: Un País de Humedales* (eds Ú Jaramillo Villa, J Cortés-Duque, and C Flórez-Ayala). Bogotá D.C.
- Jähnig, S.C., Lorenz, A.W., Hering, D., Antons, C., Sundermann, A., Jedicke, E. & Haase, P. (2016) River restoration success: a question of perception. *Ecological applications*, **21**, 2007–2015.
- Leopold, L.B. & Maddock, T.J. (1953) *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. United States Government Printing Office, Washington, USA.
- Mainstone, C.P. & Holmes, N.T.H. (2010) Embedding a strategic approach to river restoration in operational management processes - experiences in England. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **20**, 82–95.
- MinAmbiente. (2014) *Guía Técnica Para La Formulación de Los Planes de Ordenación Y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS*. Bogotá.
- Morandi, B., Piégay, H., Lamouroux, N. & Vaudor, L. (2014) How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of Environmental Management*, **137**, 178–188.
- Muehlbauer, J.D. & Doyle, M.W. (2012) Knickpoint effects on macroinvertebrates, sediment, and discharge in urban and forested streams : urbanization outweighs microscale habitat heterogeneity. *Freshwater Science*, **31**, 282–295.
- O’Keeffe, J. & Le Quesne, T. (2010) *Cómo Conservar Los Ríos Vivos: Guía Sobre Los Caudales Ecológicos* (eds D Tickner, T Le Quesne, and M Ruiz). WWF-World Wide Fund for Nature, Gland, Suiza.
- Oficina Internacional del Agua. (2009) *Organización de La Gestión Del Agua En Francia*. París, Francia.
- Opperman, J.J., Luster, R., McKenney, B. a, Roberts, M. & Meadows, A.W. (2010) Ecologically Functional Floodplains: Connectivity, Flow Regime, and Scale. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, **46**, 211–226.
- Ordoñez, J.I. (1985) *Río Bogotá - Puente Portillo: Estudio de Rectificación Y Adecuación*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá.
- Padmalal, D. & Maya, K. (2014) *Sand Mining: Environmental Impacts and Selected Case Studies*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C.N., Shah, J.F., Galat, D.L., Loss, S.G., Goodwin, P., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G.M., Lave, R., Meyer, J.L., Donnell, T.K.O. & Sudduth, E. (2005) Standards for Ecologically Successful River Restoration. *Journal of Applied Ecology*, **42**, 208–217.
- Perez, C. & Tschinkel, H. (2003) Improving watershed management in developing countries: a framework for prioritising sites and practices. *Agricultural Research & Extension Network*, **129**, 1–20.

- Petts, G.E. (1979) Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction. *Progress in Physical Geography*, **3**, 329–362.
- Petts, G. & Amoros, C. (eds). (1996) *Fluvial Hydrosystems*. Chapman & Hall.
- Pinter, N., Jemberie, A.A., Remo, J.W.F., Heine, R.A. & Ickes, B.S. (2010) Cumulative impacts of river engineering, Mississippi and Lower Missouri rivers. *River Research and Applications*, **26**, 546–571.
- Ratna Reddy, V., Saharawat, Y.S. & George, B. (2017) Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of Hydrology*, **551**, 4–13.
- Redacción El Tiempo. (1998) Bogotá toma pista para el siglo XXI. *EL TIEMPO*.
- Saldi-Caromile, K., Bates, K., Skidmore, P., Barent, J. & Pineo, D. (2004) *Stream Habitat Restoration Guidelines*. Washington Departments of Fish and Wildlife and Ecology, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington.
- Sánchez, F.J., García, J., Ballester, A., Molina, J.R., Schmidt, G., López, A. & Palacios, E. (2011) “Restaurar Juntos” - guía metodológica para proyectos participativos de restauración de ríos. *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua “Ríos Ibéricos + 10. Mirando al futuro tras 10 años del DMA”*, pp. 1–7. Talavera de la Reina, España.
- Stanley, E.H., Powers, S.M. & Lottig, N.R. (2010) The evolving legacy of disturbance in stream ecology: concepts, contributions, and coming challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, **29**, 67–83.
- Surian, N. & Rinaldi, M. (2003) Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, **50**, 307–326.
- Temperton, V.M., Higgs, E., Choi, Y.D., Allen, E., Lamb, D., Lee, C.S., Harris, J., Hobbs, R.J. & Zedler, J.B. (2014) Flexible and Adaptable Restoration: An Example from South Korea. *Restoration Ecology*, **22**, 271–278.
- The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (2001) *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service.
- The river restoration centre. (2003) *Manual of River Restoration Techniques*.
- The river restoration centre. (2013) River Restoration Factsheets. , 22.
- Vanlooy, J.A. & Martin, C.W. (2005) Channel and Vegetation on the Cimarron Change Southwestern River , Kansas , 1953-2001. *Annals of the Association of American Geographers*, **95**, 727–739.
- Vargas, O., Días, J.E., Reyes, S.P. & Gómez, P.A. (2012) *Guías Técnicas Para La Restauración Ecológica de Los Ecosistemas de Colombia* (ed G de RE GREUNAL). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Colombia y Asociación Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Bogotá D.C.
- Wissmar, R. & Bisson, P. (2004) Uncertainties in river restoration. *BioScience*, **54**, 266–268.
- Wohl, E., Angermeier, P.L., Bledsoe, B., Kondolf, G.M., MacDonnell, L., Merritt, D.M., Palmer, M.A., Poff, N.L. & Tarboton, D. (2005) River restoration. *Water Resources Research*, **41**, 1–12.
- Zhu, H., Ren, X., Jin, Y., Yang, K. & Che, Y. (2015) Multilevel analysis of a riverscape under rapid urbanization in the Yangtze delta plain, China: 1965–2006. *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**, 711.

ANEXOS

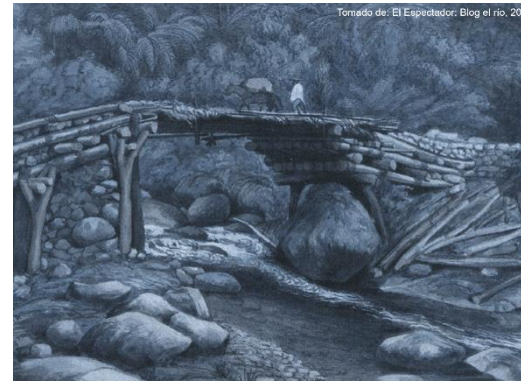
Anexo 1. Huellas y esquema de camellones usados por Muiscas



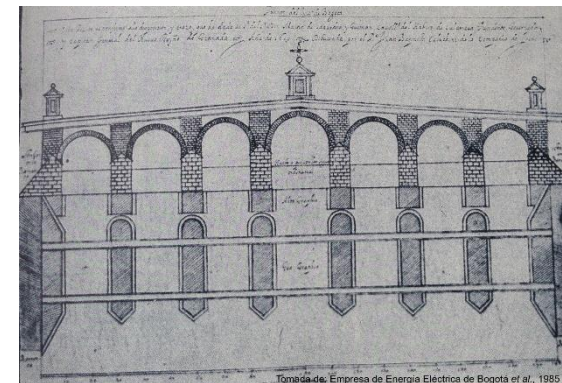
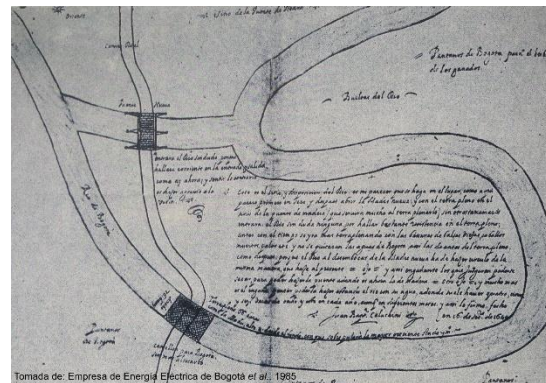
Anexo 2. Imágenes de referencia de las intervenciones identificadas

N°	INTERVENCIÓN	IMÁGENES
----	--------------	----------

1. Construcción de puentes de madera sobre el cauce del río que debían ser renovados cada 6 años.



2. Construcción de puente de mampostería "La puente grande de nuestra señora de Atocha", hoy conocido como la carretera de Occidente (calle 17).

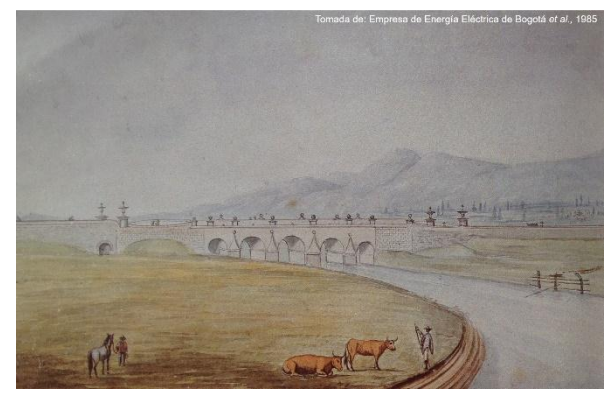
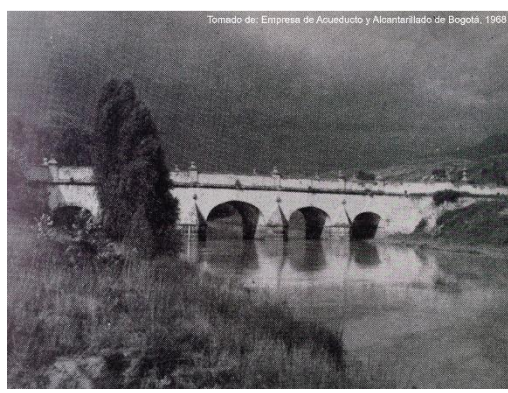


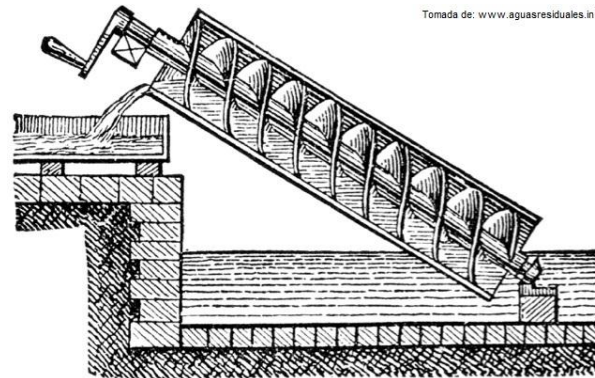


3. Construcción de puentes, calles y casas alrededor del cauce del río.

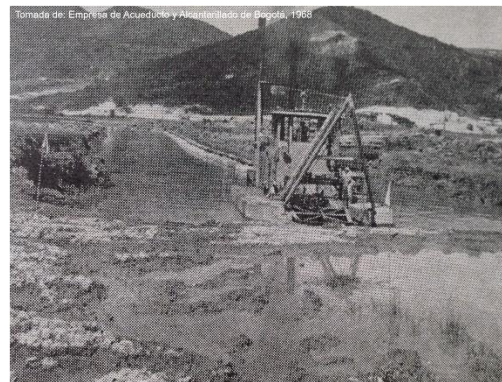


4. Construcción de puente de mampostería "Puente del común" sobre el cauce del río.

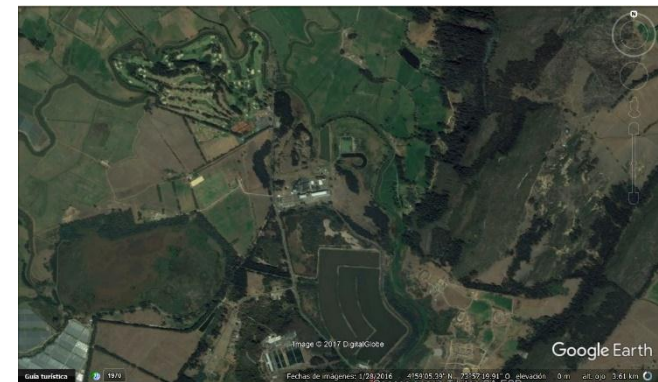




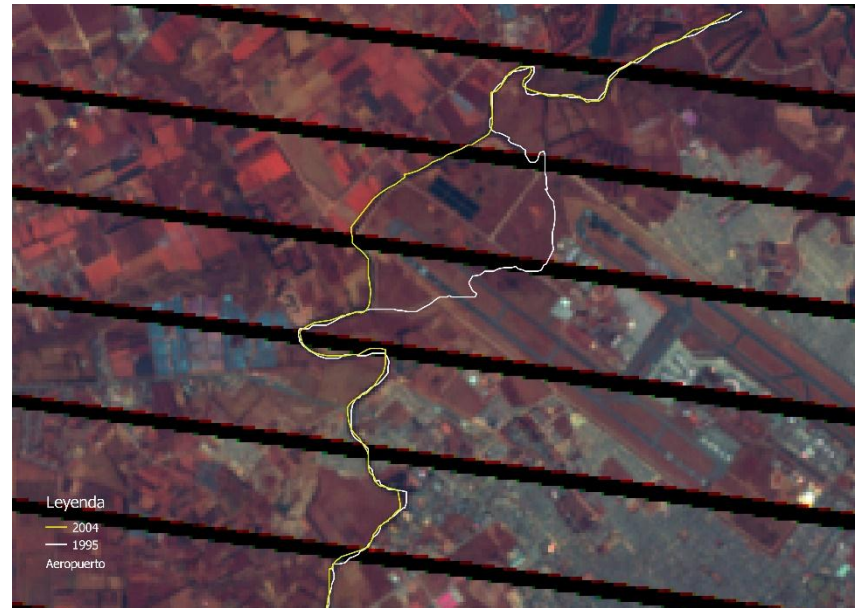
7. Captación de agua del río por medio de cuatro bombas tipo tornillo



9. Dragado del río para la construcción de una dársena. Esto implicó la rectificación permanente del río. Compuertas y bocatoma para la captación y bombeo de hasta 6m^3 de agua del río.



11. Desvío del canal del río, para ampliación aeropuerto.



12. Dragado del río
Construcción de jarillones
Pérdida de bosque ripario
Eliminación de isla al interior del canal





Anexo 3. Otras intervenciones

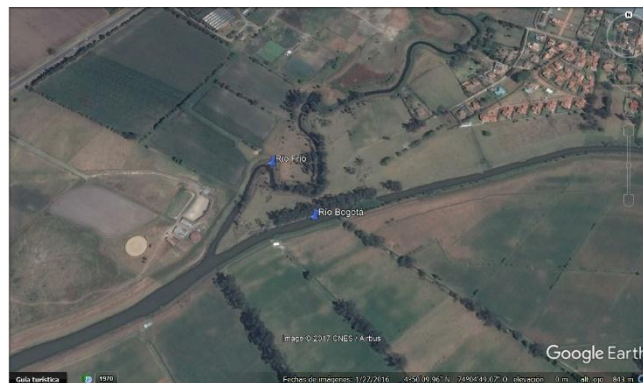
INTERVENCIÓN

IMÁGENES

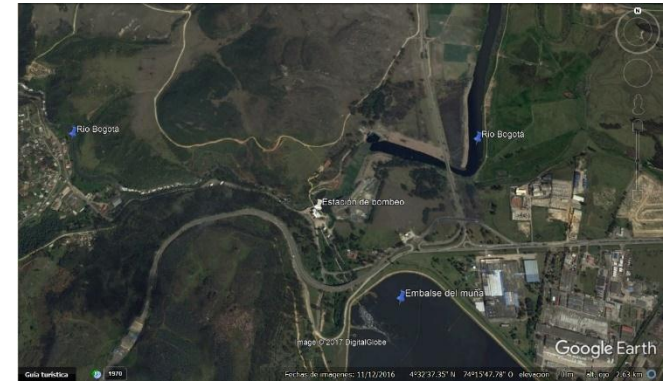
Calles y carreteras



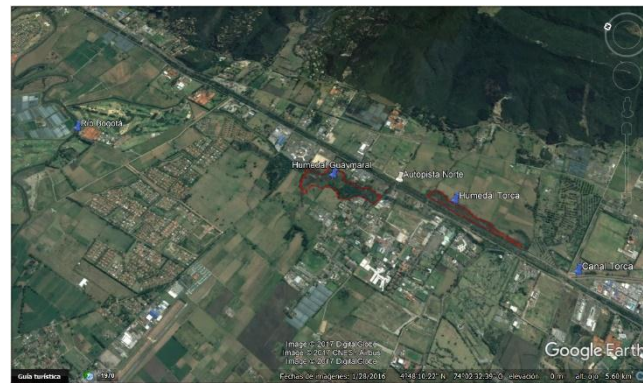
Afluentes



Descargas y bombeo



Rectificación del canal



Canal Torca y Desconexión de humedal Guamaral



Estado del canal que lleva el agua del canal Torca al humedal Guaymaral

