

**FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO Y ADAPTACIÓN
AL CAMBIO CLIMÁTICO A PARTIR DE INFORMACIÓN TÉCNICA GENERADA
DURANTE LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ**

SÁNCHEZ SUÁREZ NATHALIA MARCELA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ

2021

**FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO Y ADAPTACIÓN
AL CAMBIO CLIMÁTICO A PARTIR DE INFORMACIÓN TÉCNICA GENERADA
DURANTE LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Gestión de Cuencas
Hidrográficas**

SÁNCHEZ SUÁREZ NATHALIA MARCELA

Directora:

YENNIFER GARCÍA MURCIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2021



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado



DEDICATORIA

*A Laura Lucía e Issac Alarcón por ser mi motor de vida y mi mayor fuente de
inspiración.*

A mis padres por trazar y apoyar mi proyecto de vida.

*A mis hermanas por enseñarme el verdadero significado de la palabra
FAMILIA.*

AGRADECIMIENTOS

*Al programa de Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas de USTA Sede Bogotá
por apoyar la formación académica y científica de actores ambientales tomadores de
decisiones*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. GENERAL	15
3.2. ESPECÍFICOS	16
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1. ESTADO DEL ARTE	16
4.1.1. Cambio climático	17
4.1.2. Gestión del riesgo	19
4.1.3. Ordenamiento territorial	22
4.2. MARCO CONCEPTUAL	24
4.2.1. Manejo de cuencas hidrográficas	25
4.2.2. Gestión del riesgo de cuencas hidrográficas	27
4.2.3. Adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas	30
4.2.4. Ordenamiento territorial	35
4.3. MARCO LEGAL.....	36
5. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	39
5.1. Área de estudio	39
5.2. Procedimientos e instrumentos.....	40
5.2.1. Búsqueda de información pertinente.	41
5.2.2. Clasificación de la información	42
5.2.3. Implementación de minería de textos.	42
5.2.4. Análisis y resultados obtenidos.....	44
5.2.5. Árbol de problemas y objetivos.....	45
5.2.6. Formulación de estrategias de desarrollo sostenible.	45
6. RESULTADOS	46
6.1. Caracterización de la información producida en los últimos 10 años.	46



6.2. Problemáticas ambientales y soluciones propuestas en la cuenca media del río Bogotá.....	53
6.2.1. Problemáticas de cambio climático.....	54
6.2.2. Problemáticas de gestión del riesgo.	58
6.2.3. Problemáticas de ordenamiento territorial.	61
6.2.4. Soluciones propuestas frente al cambio climático	65
6.2.5. Soluciones propuestas frente a la gestión del riesgo.....	72
6.2.6. Soluciones propuestas frente al ordenamiento territorial	75
6.3. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para la cuenca media del Río Bogotá.	77
Objetivo 1. Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y contaminación.	79
Objetivo 2. Mejorar las capacidades de retención y regulación hídrica	83
Objetivo 3. Ordenar el crecimiento rural y urbano	84
7. DISCUSIÓN.....	86
CONCLUSIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS.....	103
Anexo 1. Base de datos de artículos analizados para los resultados.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación, recorrido y municipios de la cuenca media del Río Bogotá. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 2. La figura representa la metodología a desarrollar en el del presente estudio académico.	40
Figura 3. Nube de palabras de la información de la cuenca media del rio Bogotá de los últimos 10 años. Elaboración propia.	47
Figura 4. Análisis de agrupamiento entre los conceptos de mayor frecuencia teniendo en cuenta las temáticas principales en la cuenca media del Rio Bogotá, periodo 2011 - 2021. Distancia por el método Ward: coeficiente de correlación 0,93.	48
Figura 5. Análisis de componentes principales (PCA), “ <i>minimum spanning tree</i> ” (líneas conectoras) de las problemáticas presentes en la cuenca media del Rio Bogotá.	48
Figura 6. Temáticas frecuentes en la información respecto al cambio climático. Elaboración propia.	50
Figura 7. Temáticas frecuentes en la información respecto a la gestión del riesgo. Elaboración propia.	50
Figura 8. Temáticas frecuentes en la información respecto al ordenamiento territorial. Elaboración propia.	51
Figura 9. Distribución de la literatura según año de publicación. Elaboración propia. ..	51
Figura 10. Distribución de la literatura según tipo de documento. Elaboración propia. .	52
Figura 11. Distribución la sección de cuenca media del Río Bogotá en donde se obtuvo información. Elaboración propia.	53
Figura 12. Distribución de las principales problemáticas presentes en la cuenca media del Rio Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.	54

Figura 13. Distribución de las problemáticas de cambio climático presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.....	54
Figura 14. Distribución de las problemáticas de gestión del riesgo presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.....	58
Figura 15. Distribución de las problemáticas de ordenamiento territorial presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.	61
Figura 16. Árbol de problemas ambientales de la cuenca media del Río Bogotá, identificados en la información publicada en el periodo 2011 – 2021.....	64
Figura 17. Distribución de las principales soluciones propuestas para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.	65
Figura 18. Distribución de las soluciones propuestas respecto al cambio climático para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.	66
Figura 19. Distribución de las soluciones propuestas respecto a la gestión del riesgo para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.....	72
Figura 20. Distribución de las soluciones propuestas respecto al ordenamiento territorial para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.....	75
Figura 21. Fuentes de información para la definición de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para la cuenca media del Río Bogotá. Elaboración propia.	77
Figura 22. Árbol de problemas ambientales de la cuenca media del Río Bogotá, identificados en la información publicada en el periodo 2011 – 2021. Elaboración propia.	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Conceptos asociados al riesgo hídrico.	28
Tabla 2. Diferencias entre mitigación y adaptación al cambio climático.	31
Tabla 3. Lista de estrategias y enfoques de adaptación de cuencas hidrográficas forestales.	32
Tabla 4. Lista indicativa de estrategias de adaptación en el sector del agua.	33
Tabla 5. Relación de normatividad.....	36
Tabla 6. Causas de la pérdida de la calidad del agua en la cuenca media del Río Bogotá.	56
Tabla 7. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá.	80

INTRODUCCIÓN

El Consejo de Estado, uno de los máximos tribunales del país, emitió la Sentencia sobre la descontaminación del río Bogotá el 28 de marzo del 2014 denominada “Mejoramiento Ambiental y Social de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá”; dentro de la cual, se establecen diez objetivos específicos encaminados al continuo mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, enmarcados en tres componentes principales; el primer componente, relacionado con el mejoramiento ambiental y social de la cuenca, el segundo, relacionado con la articulación y coordinación institucional, intersectorial y económico y un tercer componente encaminado hacia la profundización en procesos de educación y participación ciudadana, en el cual se plantea una actividad relacionada con la transferencia del conocimiento.

La problemática ambiental identificada en la sentencia sobre la descontaminación del río Bogotá establece que la cuenca del Río Bogotá es uno de los sistemas hídricos más contaminados del mundo, resaltando el deterioro ecológico y ambiental en la composición del ecosistema. Existen escasos recursos por parte de los actores directos para controlar la problemática identificada en la zona media de la cuenca objeto de estudio, por tal razón se hace evidente las falencias en el uso del agua, gestión del riesgo y ordenamiento territorial que existen en los municipios de influencia directa sobre la cuenca media del Río Bogotá (Secretaría Distrital de Planeación, 2014). De allí que sea de gran relevancia estudiar y analizar estrategias de solución ante las problemáticas que presenta esta sección de la cuenca.

Por lo anterior el presente documento académico tiene como objetivo formular estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá, a partir de información técnica generada durante los últimos diez años. Esto se lleva a cabo mediante la lectura e identificación de las principales problemáticas y soluciones planteadas en dicha información por medio análisis del contenido de documentos seleccionados, complementada por análisis semántico dentro de la minería de textos. Las estrategias se formularon mediante la técnica de árbol de problemas y de objetivos, complementado con las estrategias del Plan Nacional de Adaptación al Cambio

Climático (PNACC) y las tendencias de desarrollo saludable de cuencas hidrográficas a nivel internacional.

Este trabajo se divide en 7 capítulos. En los tres primeros se establece el planteamiento del problema, justificación y objetivos. En el cuarto se describen los fundamentos teóricos teniendo en cuenta el estado del arte y el marco conceptual frente al manejo de cuencas hidrográficas, gestión del riesgo, adaptación al cambio climático y el ordenamiento territorial. En el quinto capítulo se describe el área de estudio y la estrategia metodológica seguida para el análisis de contenido y el complemento realizado con análisis semántico por medio de minería de textos. En el sexto capítulo se describen los resultados de acuerdo a los objetivos específicos planteados. En el séptimo capítulo se discuten estos resultados y, finalmente, se describen las conclusiones.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático como tema fundamental de carácter transversal a la gestión integral del recurso hídrico, es un tema que debe ser profundizado y orientado a la formulación de medidas de mitigación y adaptación (Giri et al., 2020). Esto también implica evaluar, analizar, pronosticar y mitigar riesgos de inundaciones o sequías, mediante diferentes procesos estructurales y no estructurales (López & Etulain, 2019). Junto con el cambio climático, el ordenamiento territorial también ha influido en el cambio de los servicios ecosistémicos, la escorrentía, capacidad de filtración del suelo, la demanda de agua, entre otros aspectos que generan vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas (Daneshi et al., 2021).

La problemática ambiental de la cuenca del Río Bogotá es un tema de orden nacional generador de políticas ambientales, en las cuales se han identificado temas relacionados a tala de árboles, captaciones de agua ilegales, descarga de residuos domésticos e industriales a la fuente, disposición inadecuada de basuras, descargas de residuos industriales con metales pesados, y falta de interés por manejar eficiente y responsablemente las aguas del río, que lo convierten en un referente de suciedad y contaminación a nivel mundial (Observatorio Regional Ambiental y desarrollo Sostenible del Río Bogotá, 2017).

Actualmente se cuenta con información amplia sobre cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial en la cuenca media del Río Bogotá, en diferentes investigaciones académicas e institucionales. Sin embargo, estos documentos no han sido estudiados ni revisados detalladamente en conjunto, lo que puede generar confusión e incomprensión de las principales problemáticas ambientales de esta cuenca o de las estrategias de mitigación del cambio climático, gestión del riesgo u ordenamiento territorial que se han sugerido en dichas investigaciones.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, esta investigación recopila y analiza la información académica, científica, de orden social y gubernamental, generada durante los últimos diez años en la Cuenca Media del Río Bogotá, que sirva como insumo principal para identificar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático,

gestión del riesgo de desastres y ordenamiento territorial en el área de estudio. El análisis de la información recopilada se realiza por medio del análisis documental según categorías de análisis de documentos seleccionados y complementado por análisis semántico utilizando la técnica de minería de textos.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la necesidad de formular la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático se pueden formular para la Cuenca Media del Río Bogotá, con la información académica y técnica generada durante los últimos 10 años?

2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación analiza la información generada en torno a la cuenca del Río Bogotá relacionada con la temática de cambio climático, ordenamiento territorial y gestión del riesgo, con el fin de detectar las problemáticas halladas, las estrategias propuestas y posibles vacíos en la información. En este sentido, esta investigación servirá como documento base para definir puntualmente los alcances de las investigaciones abordadas en cuenca del Río Bogotá, pretendiendo ser pilar de conocimiento que determine las acciones que deberán ser tomadas por los actores involucrados con la protección y conservación de la cuenca. Este es un insumo primario importante para formular estrategias en relación a la reducción de la vulnerabilidad y el desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas.

En este sentido, los resultados de esta investigación contribuyen a la definición de estrategias que impactan el logro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible respecto a Agua y saneamiento, ciudades sostenibles, producción y consumo sostenibles, cambio climático y bosques, desertificación y diversidad biológica (CEPAL, 2018). Esto es posible porque en esta investigación se abordan estrategias que permiten mitigar las problemáticas críticas de las cuencas: limpieza del medio acuático, mantener procesos ecológicos saludables en los hábitats, promoción de la conciencia y participación en las

comunidades, implementación del manejo integral de la cuenca y consolidar la preparación para desastres.

Actualmente existen documentos de apoyo para la toma de decisiones en temas transversales a la mitigación y adaptación de cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial formulados por entes tomadores de decisiones nacionales, en los cuales, por lo general, se establecen las áreas de acción, sus lineamientos sobre emisiones de gases invernadero (GEI) en pro del cumplimiento de sus políticas y metas de metas (Política Nacional de cambio climático, 2016). Éstas y las metas propuestas en planes de desarrollo nacional, departamental y municipales de los territorios que atraviesa la cuenca media del Río Bogotá, tienen en los resultados de la presente investigación un insumo importante para orientar sus acciones de protección y recuperación de esta área hidrográfica.

La técnica de minería de textos y revisión documental son apropiadas para el desarrollo de este tipo de investigaciones académicas, teniendo en cuenta que permite “el descubrimiento de conocimientos que no existían explícitamente en ningún texto de la colección, pero que surgen de relacionar el contenido de varios de ellos” (Barrera, 2014). Así mismo analiza escritos o conjuntos de enunciados para extraer información que resulta útil para propósitos particulares (Barrera, 2014).

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Formular estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá, a partir de información técnica generada durante los últimos diez años.

3.2. ESPECÍFICOS

- Analizar la información que se ha generado en la cuenca del río Bogotá acerca de cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial.
- Identificar las principales problemáticas en relación con la gestión del riesgo y cambio climático a partir de la información recopilada.
- Diseñar estrategias de desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas en el área de estudio, de acuerdo con las políticas nacionales y las problemáticas encontradas.

4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza un análisis de las investigaciones empíricas y los fundamentos teóricos, conceptuales y legales de la investigación y que permiten analizar y formular estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá, a partir de información técnica generada durante los últimos diez años.

4.1. ESTADO DEL ARTE

Esta sección presenta los estudios que han realizado investigaciones documentales sobre las problemáticas y estrategias de mitigación del riesgo y el cambio climático en cuencas hidrográficas realizada a nivel internacional, nacional y regional, segmentadas analíticamente en tres categorías: cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

4.1.1. Cambio climático

En Estados Unidos, Shannon et al. (2019) consolidaron un paquete de estrategias escalonadas de adaptación al cambio climático según la experiencia en las cuencas hidrográficas boscosas del medio oeste y noreste de este país. Estos “paquetes” de estrategias abordan un área de recursos diferente, utilizando términos, estrategias, enfoques y tácticas relevantes. Los autores utilizaron tres pasos para sintetizar las perspectivas actuales sobre la adaptación y desarrollar estrategias y enfoques de adaptación climática para el manejo de cuencas hidrográficas: 1) sesiones de escucha con profesionales de recursos naturales; 2) revisión de literatura para identificar y definir estrategias y enfoques basados en los temas recomendados por los profesionales; 3) examen de las estrategias de adaptación divulgadas por científicos y administradores de recursos naturales.

Como resultado, estos autores crearon un listado de estrategias y enfoques de adaptación de cuencas hidrográficas forestales fundamentadas en: sostener procesos hidrológicos fundamentales, mantener y mejorar la calidad del agua, mantener o restaurar los bosques y la cubierta vegetal, facilitar los ajustes de los ecosistemas forestales mediante la transición de especies, acomodar los procesos hidrológicos alterados y diseñar y modificar la infraestructura para adaptarse a las condiciones futuras. Este trabajo consolida referentes importantes con los que se pueden comparar y diseñar estrategias de adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas, según las problemáticas que se detecten en territorios particulares.

Por su parte, Singh et al. (2020) evaluaron la creciente literatura sobre las opciones de adaptación relacionadas con la gestión del agua y la contextualizaron con la gestión de inundaciones de Yakarta y Rotterdam y el manejo comunitario de cuencas hidrográficas en India y el Corredor Seco de Centro América en Guatemala y Honduras. Se realizó una revisión de la literatura y desarrollaron un conjunto de preguntas para evaluar la literatura con indicadores en seis dimensiones de la viabilidad: económica, tecnológica, institucional, socio-cultural, ambiental y geofísica. Luego se revisaron nuevamente los puntajes asignados por otros evaluadores para dar solidez, se combinaron puntuaciones para obtener la media aritmética en cada dimensión y,



finalmente, la evaluación global se contextualizó para proporcionar ejemplos de barreras y facilitadores para la viabilidad de la adaptación basados en el lugar. Se evaluaron dos opciones de adaptación: mejora en la eficiencia de riego en el sector agrícola en zonas rurales y la gestión sostenible del agua urbana. Como resultado, esta investigación encuentra que en el sector rural es técnicamente factible mejorar la eficiencia del riego con beneficios económicos, pero existen limitaciones por cuestiones de replicabilidad y compensaciones entre escalas y barreras institucionales. En el sector urbano, la gestión de inundaciones es viable desde el punto de vista tecnológico y geofísico, pero tiene barreras institucionales que limitan su viabilidad. Las barreras institucionales se enmarcan en las capacidades inadecuadas de recursos humanos o procesos de planificación fragmentados. Adicionalmente, esta investigación suministra un marco de análisis y discusión de las medidas de adaptación que se pueden proponer a nivel urbano y rural, pues permite comprender las barreras y facilitadores que tienen las mismas y entender la viabilidad de su implementación de una manera multidimensional.

En Ecuador, Parra & Montealegre (2020) realizaron una revisión sistemática de literatura relacionada con la ordenación y manejo de cuencas para el diseño de estrategias de conservación, mejoramiento y aprovechamiento del recurso hídrico en un sector de la Cuenca Hidrográfica del Río Seco. Se utilizó una investigación documental publicada en el país y a nivel internacional sobre temas de planificación y manejo de recursos naturales e hídricos en cuencas hidrográficas, lo cual les permitió documentar alternativas actualmente implementadas para conservar, mejorar y aprovechar el recurso hídrico y proponer estrategias para la planificación y manejo de la cuenca mencionada. Estos autores resaltan de la literatura la importancia del aprovechamiento, uso eficiente y conservación de los recursos hídricos frente a las actividades agropecuarias que sobre utilizan el suelo y generan pérdida de recursos vegetales. Lo anterior les permitió sentar las bases para el diseño de estrategias de conservación, mejoramiento y aprovechamiento del recurso hídrico de la cuenca del Río Seco. En este trabajo se resalta que a partir de la revisión de planes y documentos que han escrito sobre el manejo de cuencas hidrográficas, se pueden elaborar de manera sustentada diferentes estrategias que permitan adaptarse al cambio climático en estos territorios geográficos.

En Colombia, en el departamento del Quindío, Ruiz et al. (2018) hicieron una revisión documental y análisis de datos del cambio climático en los planes de desarrollo de dos vigencias administrativas (2012 – 2015 y 2016 – 2019) de 12 municipios de la región. Bajo un enfoque cuantitativo y cualitativo, los autores revisaron el estado de la gestión ambiental en el marco del cambio climático por medio de una definición conceptual inicial del cambio climático, el análisis del ordenamiento territorial por medio del software KlimaTerraTorium y la evaluación de la inclusión de la gestión ambiental para el cambio climático en los planes de desarrollo, calculando índices de prioridad de cada ente territorial según las categorías del modelo conceptual de gestión del cambio climático: conservación de ecosistemas, capacidad de gestión, seguridad alimentaria, gestión del recurso hídrico, gestión del riesgo, salud pública, reducción de emisiones, economía y sistemas productivos, transferencia de tecnologías. En los resultados, se encuentra que el 83.3% de los municipios presentan baja disponibilidad de información hidrometeorológica y el 75% baja disponibilidad de información sobre el recurso hídrico (oferta y demanda, modelación hidráulica prospectiva de cada cuenca, inventario de predios de conservación, esquemas de pagos por servicios, índices de agua contabilizada para los sistemas de distribución), entre otros. Se encontró en el modelo de gestión del cambio climático, que para los municipios del Quindío las categorías de mayor prioridad fueron la conservación de ecosistemas y áreas de interés ambiental, mientras que en los municipios de Calarcá y Salento fue más alta la prelación sobre el recurso hídrico.

4.1.2. Gestión del riesgo

En España, Olcina et al. (2020) realizaron una evaluación de la integración de la dimensión social y la participación pública en los planes de gestión del riesgo de inundación, para determinar si se está produciendo una transición hacia nuevas formas de gestión pública más abierta a soluciones no estructurales. La metodología utilizada fue análisis documental para revisar 14 Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI). En el análisis se construyó una matriz de recuento de acciones en cinco tipos de medidas sociales analizadas, su naturaleza en construcción de capacidades y en



términos de agencia y estructura. Las dimensiones sociales analizadas fueron 1) mejora en el conocimiento sobre la gestión del riesgo de inundación; 2) establecer o mejorar la planificación institucional de respuesta a emergencias; 3) mejora de los protocolos de actuación y comunicación; 4) conciencia pública, preparación, percepción del riesgo y autopercepción y 5) actividades de protección civil. La naturaleza de construcción de capacidades fue desde: conocimiento, financiación, motivación, participación y redes. Los autores de este trabajo hallaron que existe debilidad en los procesos participativos y de inclusión de intereses de actores involucrados en la gestión pública del riesgo de desastre por inundación. De manera que se evidencian procesos administrativos burocráticos en los que la demarcación hidrográfica se reproduce de manera descontextualizada y estandarizada. Los autores concluyeron que en España la gestión del riesgo de inundación sigue reproduciendo características propias del paradigma tecnocrático; es decir, con el manejo de cálculos probabilísticos para predecir inundaciones y la propuesta de obras de ingeniería para el control y regulación del agua. Lo anterior implica una baja utilización de la participación social para el tratamiento de los riesgos de inundación y la escasa construcción de capacidades sociales para producir respuestas adaptativas de la población al riesgo de desastre. Este trabajo evidencia que en la revisión documental de estrategias de gestión del riesgo se pueden construir matrices y cuadros de análisis en el que se puedan obtener resultados cuantitativos sobre la frecuencia de problemáticas o acciones respecto a la mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas.

Por su parte, Liu et al. (2020) hicieron una revisión del movimiento internacional (Reino Unido, Canadá, Corea, Japón y Estados Unidos) sobre el manejo de cuencas hidrográficas y la implementación de políticas para analizar las barreras actuales y pasadas. En esta revisión los autores se propusieron cinco objetivos: 1) revisar el desarrollo para el manejo saludable de las cuencas hidrográficas en varios países, 2) examinar y resaltar las barreras actuales con las estrategias correspondientes, 3) establecer indicadores clave de desempeño para un medio ambiente saludable en las cuencas hidrográficas, 4) realizar análisis beneficiosos de los aspectos ambientales, económicos y sociales para la infraestructura verde, y 5) evaluar los desafíos y perspectivas para el desarrollo sostenible tanto a corto como a largo plazo. El manejo

saludable de cuencas abarca para estos autores el aseguramiento de que la cuenca hidrográfica es resistente a las perturbaciones naturales, autosuficiente, sin efectos en su entorno y beneficiosa para las comunidades con valor ecológico.

Como resultado y para abordar los problemas críticos de las cuencas, se sugieren cinco estrategias: aclarar el medio acuático, mantener los procesos ecológicos saludables en los hábitats, promover la conciencia y participación del público, implementar manejo integral de cuencas hidrográficas y consolidar la precaución de preparación para desastres. Para estas estrategias establecieron un conjunto de indicadores secundarios y terciarios para el manejo saludable de cuencas. Respecto a la prevención de desastres y gestión adaptativa los indicadores secundarios fueron las medidas de adaptación, sistema de preaviso para el control de la calidad del agua, protocolo para desastres o condiciones emergentes y base de datos y plataforma de información. Los autores destacan los beneficios de la infraestructura verde (biorretención y mantenimiento de los ecosistemas) desde las perspectivas ambiental, económica y social. Este trabajo resalta el papel de dotar de infraestructura verde las cuencas hidrográficas y un modelo de referencia para el manejo saludable de estas cuencas, junto con su aporte a la consecución de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Metodológicamente este antecedente brinda luces sobre el planteamiento de marcos de comprensión de las estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático a partir de la revisión de literatura.

A nivel local, Rubiano (2020) realizó un estudio la historia ambiental en la cuenca alta y media del Río Bogotá como herramienta prospectiva de adaptación a eventos extremos. El autor indagó información secundaria cartográfica, geográfica y documental para determinar las transformaciones paisajísticas y las presiones que las generan, para luego determinar los núcleos de vulnerabilidad asociados a los municipios de más rápido crecimiento ubicadas en la cuenca alta y media del Rio Bogotá. Posterior a ello se utilizaron proyecciones matemáticas con el fin de sugerir preparación ante eventos naturales y posibles capacidades de respuesta de la sociedad. Como resultado el autor encuentra que la historia ambiental de la cuenca alta y media del rio Bogotá se caracteriza por eventos de origen natural y antrópicos como inundaciones e incendios



forestales y los municipios de mayor afectación por estos eventos son los de Soacha, La Calera, Sibaté y Bogotá. Se identifica además que este tipo de desastres ha obligado a los habitantes a adaptarse e incrementar la capacidad de respuesta, razón por la cual la gestión de riesgos y desastres se ha convertido en una herramienta reactiva y no de preparación. Han existido conflictos generados por el uso del suelo por sobre utilización y subutilización severa cerca de cuerpos de agua y zonas donde se generaron incendios forestales. Respecto a los hallazgos se proponen acciones de gestión de desastres para potenciar la capacidad de respuesta de los habitantes: conocer los parámetros que constituyan indicadores de alerta por contaminación en los ríos, capacitación constante sobre los peligros asociados con el lugar de residencia, revisión periódica del estado técnico y mantenimiento de presas y demás obras hidráulicas, utilización de sistemas de información geográfica que generen acercamientos a la realidad ambiental, observar los eventos de origen natural y generar herramientas de conocimiento.

4.1.3. Ordenamiento territorial

Ratna et al. (2017) realizaron una revisión sinóptica y crítica de experiencias de gestión de cuencas hidrográficas en el sur de Asia y así lograr aprendizajes que sirvan para proporcionar una política básica de cuencas hidrográficas y un marco de implementación. A nivel metodológico este estudio se basa en una revisión exhaustiva de investigaciones publicadas e informes no publicados sobre gestión de cuencas hidrográficas en Afganistán, Bangladesh, Bután, India, Nepal, Pakistán y Sri Lanka. Como elementos de análisis revisan la evolución de este tipo de gestión, las modalidades institucionales y de implementación adoptadas, evalúan los impactos ambientales y socioeconómicos de la intervención, comprenden los cuellos de botella de la implementación para el manejo sostenible y extraen lecciones para las intervenciones de gestión de cuencas hidrográficas en países de desarrollo, junto con algunos imperativos de política. Los autores encuentran que en los países estudiados se priorizan políticas diferenciadas en diferentes niveles de arreglos institucionales para implementar programas de agua potable y saneamiento. Esta implementación de intervenciones en cuencas hidrográficas no es científica ni integral, lo que limita la efectividad. También

hallan que se deben mejorar aspectos técnicos e institucionales para mejorar los medios de vida de las comunidades. Otro desafío relevante es la distribución de beneficios, pues el acceso a los recursos hídricos subterráneos se distribuye de manera desigual en los hogares debido a los derechos de propiedad existentes en la tierra y los recursos hídricos, junto con la estructura agraria y distribución desigual y la geometría de los acuíferos.

En lo relacionado al ordenamiento territorial el estudio de Ratna et al. (2017) menciona que la intervención en la cuenca no garantiza la distribución de los flujos de beneficios en toda la comunidad, pues estos tienden a acumularse en los propietarios de la tierra y quienes están mejor ubicados para bombear el aumento del agua, lo que puede alejar los intereses de participación de algunos sectores que no poseen tierra. En este sentido, el ordenamiento territorial adecuado puede contribuir a la distribución de los beneficios entre los grupos socioeconómicos para que la gestión de la cuenca hídrica sea exitosa. Estos autores concluyen al respecto que una intervención exitosa en una cuenca requiere de una combinación de seguridad/accesibilidad, título y control de la tierra claros, junto con condiciones geológicas y climatológicas apropiadas que permitan que las intervenciones marquen una diferencia perceptible.

A nivel nacional, Albarracín & Montoya (2018) se propusieron evaluar el estado del arte de la incorporación de la gestión del riesgo en los distintos instrumentos de planificación del departamento de Risaralda, Colombia. La investigación es de tipo documental en planes de desarrollo, diagnósticos, planes ambientales, planes de ordenamiento territorial, con variables o categorías como ordenamiento territorial y gestión del riesgo, tomando como caso de estudio el municipio de Dosquebradas. Los autores mencionan que, pese que existe información y estrategias en los planes de gestión de riesgos, existe una brecha amplia entre la realidad del medio ambiente y las cuencas hidrográficas y lo que las administraciones locales llevan a cabo. Esto se visualiza en el incremento de las zonas de riesgo y desastres debido a ocupaciones espontáneas, poco control de los procesos urbanos y ocupación de tierras en el territorio municipal.



A nivel local, en el área de planificación urbana y regional, Dueñas (2020) analizó si se han generado procesos de gobernanza colaborativa para dar respuesta a los conflictos por el agua en los instrumentos de planificación, como estudio de caso el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) del río Bogotá y la cuenca alta del río Bogotá. Metodológicamente el estudio se realiza en tres fases: 1) revisión documental para fundamentar el foco de análisis; 2) construcción de categorías de análisis (conflictos por el agua y gobernanza colaborativa); 3) recolección de información mediante matriz de análisis de documentos e información secundaria y entrevistas semiestructuradas. Como resultado los autores resaltan, entre otras cosas, los conflictos del uso del suelo en las subcuencas de los municipios de Tenjo, del río Teusacá y del río Bogotá debido a intervenciones no vinculadas al uso del agua: deforestación, agricultura, o incremento de urbanizaciones. Además, se determina que el POMCA no brinda espacios que promuevan la gobernanza colaborativa causada por los desequilibrios de poder, casos no exitosos de cooperación, lo que dificulta dar respuesta a los conflictos por el agua en la cuenca.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

El cambio climático ha traído riesgos a la seguridad hídrica de los países, pues tiene el potencial de alterar la hidrología y la calidad del agua en las cuencas, provocando inundaciones, sedimentación y eutrofización, lo cual afecta la calidad del agua para los sistemas humanos y naturales (Giri et al., 2020). Ante esta problemática, las estrategias de manejo de cuencas hidrográficas deben abordar de manera holística estos riesgos y vulnerabilidades a fin de lograr la sostenibilidad del agua.

En este marco teórico-conceptual se definen los límites del manejo de cuencas hidrográficas en su visión actual de integralidad y sostenibilidad y, bajo este marco, abordar las tres temáticas más relevantes de dicho manejo: la gestión del riesgo, la adaptación al cambio climático y el ordenamiento territorial.



4.2.1. Manejo de cuencas hidrográficas

Existen tres conceptos básicos necesarios para el desarrollo teórico y que se exponen a la luz de Ratna et al. (2017): la *cuenca* es un área delineada topográficamente que es drenada por un sistema de arroyos y que puede verse también como una unidad hidrológica que se utiliza como unidad físico-biológica y como unidad socio-económica y socio-política para planificar e implementar actividades de manejo de recursos. Así, la *gestión de cuencas hidrográficas* abarca los cambios en los arreglos institucionales necesarios para situaciones acción colectiva y el *Manejo integrado de cuencas* como el proceso de formular e implementar un curso de acción que involucra recursos naturales y humanos en una cuenca, a partir del estudio de factores sociales, políticos, económicos e institucionales que operan dentro de ella, para lograr ciertos objetivos ecológicos y socioeconómicos (Ratna et al., 2017).

El manejo de cuencas ha tenido una evolución conceptual en el que entre 1930 y 1940 se consideraba desde un punto de vista forestal, mientras que en la década de 1940 el manejo de cuencas hidrográficas incluyó estudios económicos como requisito. Luego en 1962 el enfoque se tornó hacia el desarrollo sostenible para incluir lo económico y lo social a la gestión del medio ambiente. Así, entre 1950 y 1970 existieron iniciativas de gobernanza del agua y donde surgieron la mayoría de leyes y políticas de protección del agua en sus primeras versiones. Entre 1970 a 1985 los temas ambientales en relación a los problemas del agua se convirtieron en las preocupaciones más importantes, postulando el tema del control de la contaminación del agua. En la década de 1990 la tendencia mundial fue hacia la urbanización y el cambio climático adquiere connotaciones mundiales, lo que conllevó a introducir oficialmente la gestión integrada de cuencas hidrográficas (Liu et al., 2020).

En la década del 2000 hubo un cambio significativo en la prevención de la contaminación del agua mediante el control de dicha contaminación al agua potable, la aceptación de terminología “verde” en las personas, organizaciones y regulaciones, la postulación del término “saludable” como una palabra clave y la priorización de la ordenación saludable de las cuencas hidrográficas con infraestructura verde. De esta manera, la ordenación saludable de las cuencas hidrográficas con infraestructura verde

comenzó a desempeñar un papel relativamente importante. Luego de la reunión de la Asamblea General de las Naciones Unidas en la que se identificaron los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible, el desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas se convirtió en el nombre en juego (Liu et al., 2020).

La gestión integrada de cuencas hidrográficas es un enfoque holístico que busca la adaptación y mitigación del cambio climático mediante la optimización del uso de la tierra, el agua y la vegetación en un área para hacer frente a la sequía, moderar las inundaciones, prevenir la erosión del suelo, mejorar la disponibilidad del agua, restaurar la base de recursos naturales y aumentar la producción forestal y agrícola de manera sostenida (Mekonnen et al., 2021). Al respecto, el término “integridad de la cuenca” actualmente se usa para describir los sistemas que brindan el servicio a la sociedad con flujo sostenible (Flotemersch et al., 2016). Desde este punto de vista, la sostenibilidad del agua se define como el suministro de agua dulce disponible durante el cambio climático, condiciones meteorológicas extremas, sequías e inundaciones y superpoblación (Mays, 2007).

Actualmente los principales problemas en el manejo de cuencas hidrográficas son: contaminación de la calidad del agua, deterioro de las condiciones ecológicas, insuficiencia de la cantidad de agua, falta de integración de la gobernanza, insuficiencia de las medidas de adaptación al cambio climático (Liu et al., 2020). Desde el punto de vista del desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas y abordar las problemáticas críticas de la cuenca, Liu et al. (2020) han sugerido cinco estrategias:

Limpiar el medio acuático: consiste en mejorar la gestión del agua potable con políticas de protección y buenas prácticas de gestión y de bajo impacto en el desarrollo, lo cual implica hacer cumplir las leyes y regulaciones de la región.

Mantener los procesos ecológicos saludables en los hábitats: es la promoción de la implementación de infraestructura verde y un sistema de amortiguamiento dentro y fuera de la región urbana. Abarca la evaluación de la salud de las cuencas y formular políticas correspondientes, construir corredores y hábitats ecológicos y simular el entorno natural hacia el enfoque ecológico.

Promover la conciencia y participación en el público: consiste en sensibilizar estilos de vida bajos en carbono, establecer sistemas de incentivos para lograr la aceptación pública, fortalecer funciones comunitarias y organizativas, promover el concepto de “verde” en la educación y establecer plataformas de información sobre la sostenibilidad del agua y energías renovables para mejorar relaciones y utilización del gobierno.

Implementar manejo integral de cuencas hidrográficas: diseñar sistemas de suministro de agua para la reconstrucción y restauración del agua; integrar y utilizar varios recursos como suelo, agua, bosque y agricultura y optimizarlos; adoptar acciones de gestión del agua a nivel internacional que puedan resultar adecuados para aplicar.

Consolidar la precaución de preparación para desastres: es el desarrollo de bases de datos de gestión de operaciones del sistema de abastecimiento de agua e intercambio de tecnología; fortalecimiento de los programas de gestión en cuanto a mecanismos de comunicación, coordinación y cooperación; desarrollo de la evaluación de la gestión de riesgos y seguridad hídrica; desarrollo de nuevas tecnologías para responder a situaciones extremas; desarrollo de planes de contingencia, fortalecimiento de la capacidad de monitoreo y alerta temprana de cambios repentinos en la calidad y cantidad de agua.

4.2.2. Gestión del riesgo de cuencas hidrográficas

La gestión del riesgo se define como:

el proceso social de formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (MinAmbiente, 2014).

La gestión del riesgo comprende un conjunto de elementos institucionales, técnicos y ambientales que permiten evaluar, analizar y mitigar los riesgos de desastres

por inundación, que puedan afectar el suministro de agua y afecten la seguridad y bienestar de las comunidades.

Otras definiciones asociadas a esta temática se pueden observar en la tabla 1, todas ellas relacionadas con el riesgo hídrico, el cual es un concepto complejo que involucra definiciones de amenaza, exposición, susceptibilidad y resiliencia.

Tabla 1. Conceptos asociados al riesgo hídrico.

Concepto	Definición
Riesgo hídrico	Amenaza o peligro x vulnerabilidad (exposición + susceptibilidad) / resiliencia.
Riesgo	Probabilidad de que una población o grupo le ocurra algo debido a una amenaza o peligro, nocivo o dañino, por ejemplo, que ocurra una inundación.
Amenaza o peligro	Es la posibilidad de ocurrencia de un evento físico de tipo natural que puede causar un daño a la sociedad teniendo en cuenta la retención y deslizamiento de agua que puede causar la geomorfología.
Exposición	Población, propiedades, sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existe posibilidad que se produzca un evento peligroso.
Susceptibilidad	Es el grado de fragilidad interna de los sujetos, objetos o sistemas para recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.
Vulnerabilidad	Es la suma de la exposición y la susceptibilidad y se interpreta como una manifestación del nivel expresado de desequilibrio entre la estructura social y el medio natural y construido.
Resiliencia	Capacidad de recuperación y respuesta para afrontar el impacto de un evento, así como el estar prevenido ante un fenómeno adverso.

Fuente: (I. López & Etulain, 2019)

En la gestión de riesgos de inundaciones se involucran tradicionalmente tres fases que involucran múltiples actores en la misma cadena (Thepot, 2017):

- *Prevención*: que incluye el conocimiento y la cultura de riesgo, preparación para la gestión de crisis, la integración del riesgo en el uso del suelo y la planificación urbana, la reducción de los peligros y la vulnerabilidad de la propiedad y las personas.
- *Gestión de crisis*: abarca la alerta, socorro y posible evacuación de personas, así como el periodo de recuperación.

- *Reconstrucción*: luego de las inundaciones inicia la reconstrucción incluida financiación y retroalimentación del proceso.

En Colombia, el proceso de gestión del riesgo involucra los procesos de conocimiento, reducción y manejo. El conocimiento del riesgo comprende la identificación, evaluación, monitoreo y seguimiento del riesgo, lo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y manejo de desastre; así como promover la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo. La reducción del riesgo es la intervención colectiva que se realiza para disminuir las condiciones de riesgo existentes (mitigación), para evitar nuevos riesgos (prevención) o la protección financiera. El manejo de desastres es el proceso de preparación y respuesta a emergencias y recuperación o rehabilitación post desastre.

De esta manera, la gestión del riesgo de inundaciones debe abarcar sistemas de pronóstico y alerta temprana, incentivos con enfoques de ordenamiento y uso sostenible de la tierra y mejora en la retención de agua e inundaciones controladas en ciertas áreas. La gestión de riesgos debe pensarse globalmente e implementarse localmente de manera compartida y aceptada por los actores locales (Thepot, 2017).

La gestión del riesgo se lleva a cabo mediante medidas de mitigación, las cuales son acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos en el medio ambiente (Decreto 1076 de 2015), en este caso, de desastres asociados a cuencas hidrográficas. Este tipo de medidas pueden ser estructurales y no estructurales. Las *estructurales* son aquellas que cambian el sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica por medio de obras (generalmente de obra gris o de ingeniería civil), de ingeniería forestal y de ecohidrología, para evitar o minimizar los daños que generan las inundaciones. Las medidas *no estructurales* son aquellas en las que los perjuicios ocasionados por las inundaciones se reducen por medio de una mejor convivencia de la población con el crecimiento de los ríos (López & Etulain, 2019).

Las medidas estructurales pueden ser intensivas, cuando se realizan dentro del sistema de drenaje o curso del arroyo principal y los cursos de agua de menor envergadura. Son extensivas cuando se realizan en distintas partes de la cuenca hidrográfica y que buscan cambiar las relaciones entre las precipitaciones y el



escurrimiento superficial (por ejemplo, la alteración de la cobertura vegetal del suelo) (López & Etulain, 2019).

La gestión del riesgo ha adoptado un enfoque tecnocrático en el que el diagnóstico y definición de medidas se basa en el conocimiento científico y técnico, y que en los últimos años ha recibido críticas debido a que no considera la racionalidad social y en lugar de potenciar respuestas adaptativas, se limita a intervenir los niveles de peligrosidad de la amenaza, con lo cual no se atacan las acusas estructurales del riesgo ni se logran articular respuestas de mitigación efectiva de los impactos sociales en escenarios de desastre (Olcina et al., 2020).

Respecto al manejo del riesgo de inundaciones, el enfoque tecnocrático de la gestión del riesgo se ha basado en calcular la probabilidad de riesgo de periodos de inundación y la propuesta de soluciones de ingeniería para el control y regulación de aguas y la protección de zonas inundables (Few, 2003). No obstante, Olcina et al. (2020) explican que este modelo desatiende las funciones ecosistémicas, omite la dinámica fluvial del territorio e ignora los procesos y condiciones de vulnerabilidad social sobre la producción de riesgo de desastre por inundación.

Frente a estas limitaciones, la literatura ha optado por proponer nuevos criterios basados en una gestión adaptativa del riesgo de desastre por inundación en los que se combinen soluciones estructurales y no estructurales (Schoeman et al., 2014). Explica Olcina et al. (2020) que las medidas no estructurales consisten en recuperar el territorio fluvial mediante soluciones basadas en funciones de la naturaleza y capacitación social, sensibilización y educación frente al riesgo de las poblaciones locales. De esta manera, la gestión de riesgo de desastres por inundación involucra anticipar las necesidades de capacitación de la población para prevenir el riesgo, afrontar amenazas y recuperarse de los desastres.

4.2.3. Adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas

El cambio climático y la contaminación de las cuencas hidrográficas ha generado vulnerabilidad y riesgos para los sistemas humanos y sociales. Por lo tanto, la evaluación

de la vulnerabilidad debido al cambio climático es un requisito previo para el desarrollo de estrategias de gestión adaptativa para mantener los sistemas humanos y naturales de manera sostenible frente a climas extremos (Giri et al., 2020). Dicha vulnerabilidad se define como la propensión de un sistema a reaccionar de manera adversa durante la exposición a eventos peligrosos, incluido el estrés o eventos externos (Proag, 2014).

La adaptación al cambio climático es definida como “las medidas que adopten las personas para atenuar los efectos o aprovechar de nuevas oportunidades, y los cambios estructurales y funcionales en los sistemas naturales como respuesta a una modificación de las presiones a que están sujetos” (IPCC, 2001). En este contexto es útil diferenciar los conceptos de mitigación y adaptación; pues, aunque ambas medidas contribuyen a disminuir los efectos del cambio climático, poseen diferentes alcances (ver tabla 2).

Tabla 2. Diferencias entre mitigación y adaptación al cambio climático.

	Mitigación	Adaptación
Concepto	Acciones y medidas que buscan reducir las emisiones netas a la atmósfera de gases efecto invernadero	Acciones y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático.
Objetivos	Aborda las causas del cambio climático (acumulación de GEI en la atmósfera)	Aborda impactos del cambio climático
Escala espacial	Es principalmente un tema internacional ya que la mitigación proporciona beneficios globales, aunque también locales, ya que una economía baja en carbono se hace más competitiva	Es principalmente un tema local, ya que la adaptación proporciona beneficios a esta escala; sin embargo, también se amplían a una escala regional y global en muchos de los casos.
Escala de tiempo	Tiene un efecto a largo plazo sobre el cambio climático, debido a la inercia del sistema climático.	Puede tener un efecto a corto plazo sobre la reducción de la vulnerabilidad.
Sector	Es un prioridad en los sectores de energía, transporte, industria y gestión de residuos.	Es una prioridad en los sectores de agua y salud, y en áreas costeras y bajas, así como en infraestructura y vivienda.
	Los sectores forestal y agrícola abordan tanto las causas del cambio climático debido a las emisiones que genera, como sus impactos.	

Fuente: Complementado de (Rodríguez, 2020)

Por su parte, se han consolidado diferentes estrategias y enfoques de adaptación al cambio climático en cuencas hidrográficas forestales por medio de revisiones de literatura y consulta de expertos (ver tabla 3).

Tabla 3. Lista de estrategias y enfoques de adaptación de cuencas hidrográficas forestales.

Estrategias	Enfoques
1: Sostener procesos hidrológicos fundamentales	1.1: Mantener y mejorar la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua de los suelos forestales
	1.2: Mantener y restaurar la conectividad hidrológica
	1.3: Mantener y restaurar la forma y función del canal de flujo
	1.4: Mantener y restaurar la conectividad de la llanura aluvial
	1.5: Mantener y restaurar humedales boscosos y áreas de tierras bajas
2: mantener y mejorar la calidad del agua	2.1: Aumentos moderados de la temperatura del agua superficial
	2.2: Reducir la exportación y carga de nutrientes y otros contaminantes
	2.3: Reducir la erosión del suelo y la deposición de sedimentos
3: Mantener o restaurar los bosques y la cubierta vegetal.	3.1: Mantener o restaurar la cubierta forestal y vegetal en áreas ribereñas
	3.2: Revegetar rápidamente las áreas después de una perturbación
	3.3: Mantener o mejorar la capacidad de los bosques para resistir plagas y patógenos
	3.4: Prevenir el establecimiento de especies invasoras y eliminar las especies invasoras existentes
	3.5: Priorizar y mantener hábitats únicos para refugios
	3.6: Mejorar las clases de edad de las especies y la diversidad estructural en los bosques
	3.7: Identificar, mantener y mejorar los hábitats importantes para los peces y la vida silvestre
4: Facilitar los ajustes de los ecosistemas forestales mediante la transición de especies.	Enfoque 4.1: Favorecer o restaurar especies nativas que se espera que se adapten a condiciones futuras
	Enfoque 4.2: Establecer o fomentar nuevas mezclas de especies nativas
	Enfoque 4.3: Desfavorecer especies que están claramente mal adaptadas
	Enfoque 4.4: Introducir especies que se espera que se adapten a condiciones futuras
	Enfoque 4.5: Trasladar las especies en riesgo a lugares que se espera que proporcionen hábitat
5: Acomodar procesos hidrológicos alterados	Enfoque 5.1: Gestionar sistemas para hacer frente a la disminución de los niveles de agua y la disponibilidad limitada de agua.
	Enfoque 5.2: Mejorar la capacidad de los sistemas para retener agua
	Enfoque 5.3: Ajustar los sistemas para hacer frente al aumento de la abundancia de agua y a los altos niveles de agua
	Enfoque 5.4: Responder o prepararse para flujos terrestres excesivos (escorrentía superficial)
6: diseñar y modificar la	Enfoque 6.1: Reforzar la infraestructura para cumplir con las condiciones esperadas

Estrategias	Enfoques
infraestructura para adaptarse a las condiciones futuras	Enfoque 6.2: Redirigir o reubicar la infraestructura o utilizar estructuras temporales
	Enfoque 6.3: Incorporar el desarrollo natural o de bajo impacto en los diseños
	Enfoque 6.4: Eliminar la infraestructura y reajustar el sistema

Fuente: (Shannon et al., 2019)

En los países y diferentes regiones se han hecho frente a los impactos climáticos y se han adaptado frente a la inseguridad hídrica y los riesgos relacionados con el agua (ver tabla 4). Algunas de estas opciones son infraestructura (duras), y otras son estrategias de adaptación (blandas) para transformar las prácticas de siembra de cultivo o crear conciencia sobre los riesgos mediante sistemas de alerta temprana.

Tabla 4. Lista indicativa de estrategias de adaptación en el sector del agua.

Sector	Riesgos clave	Estrategias de adaptación en el sector del agua
Rural	<ul style="list-style-type: none"> • Lluvias más erráticas con períodos secos más prolongados, granizo o lluvia sin precedentes • Deslizamientos de tierra e inundaciones relacionados con lluvias extremas • Sequía y escasez de agua • Ciclones, marejadas ciclónicas, aumento del nivel del mar • Cambios de temperatura (por ejemplo, veranos más calurosos e inviernos más suaves) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de la eficiencia del riego mediante la reducción de pérdidas por evaporación, filtraciones, etc. • Cambios en las prácticas de riego (por ejemplo, pasar de riego por inundación a riego por goteo / aspersión) • Cambio en los cultivos cultivados (por ejemplo, cambio de cultivos intensivos en agua a cultivos tolerantes a la sequía) • Cambios en las prácticas de cultivo (por ejemplo, cambio de fechas de siembra, cobertura vegetal, agricultura natural de presupuesto cero) • Manejo de cuencas hidrográficas para capturar y conservar el agua de lluvia, usar cobertura natural para restaurar tierras degradadas • Barreras naturales o 'verdes' para controlar la erosión, reducir el riesgo de inundaciones
Urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Eventos de lluvia más intensos que conducen a inundaciones y deslizamientos de tierra. • Cambios en los patrones de lluvia que conducen a la escasez de agua y la sequía • Tormentas, ciclones 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del agua a través de políticas de zonificación adecuadas, códigos de construcción. • Medidas de protección como la construcción de malecones, presas, diques • Manejo de inundaciones a través de medidas de infraestructura como casas y edificios a prueba de humedad / sequedad.



	<ul style="list-style-type: none">• Inundaciones costeras e interiores• Subida del nivel del mar y hundimiento de la tierra• Temperaturas extremas y olas de calor	<ul style="list-style-type: none">• Gestión de inundaciones / ciclones mediante reubicación, evacuación, alertas tempranas, etc.• Reducir el uso de agua a través de contadores inteligentes, políticas de precios, impuestos al agua• Aumento de la oferta (por ejemplo, recolección de agua de lluvia en los tejados, protección de los humedales urbanos)• Restauración de ecosistemas• Desalación en zonas costeras
--	--	---

Fuente: Singh et al. (2020)

Dentro de las múltiples opciones de adaptación al cambio climático, se deben priorizar aquellas que se incluirán en los planes nacionales y subnacionales para permitir la gestión integrada de riesgos. Al respecto, Singh et al. (2020) presentaron una evaluación de viabilidad multidimensional de seis dimensiones con sus respectivos indicadores obtenidos por expertos y revisión de literatura:

Económico: Costos y beneficios económicos asociados con una opción de adaptación, incluidos los impactos en el empleo, la productividad, los ingresos, etc.

Tecnológico: Conocimientos tecnológicos y recursos humanos, financieros y administrativos asociados para una opción específica

Institucional: La capacidad institucional y jurídica y la aceptabilidad política de una opción. Incluye evaluar el nivel de responsabilidad y transparencia (a través del seguimiento y la evaluación) relacionado con una opción de adaptación.

Socio-cultural: Los co-beneficios sociales de una opción de adaptación, por ejemplo, para la salud, la nutrición o la educación, la aceptabilidad sociocultural de una opción (por ejemplo, en comparación con las normas y creencias locales), así como las preocupaciones por la equidad entre regiones y generaciones.

Ambiental: Examina si la opción mejora los servicios de los ecosistemas, crea capacidades de adaptación y / o contribuye a la resiliencia.

Geofísico: Evalúa si la opción tiene barreras físicas (por ejemplo, límites ecológicos) y el potencial para reducir el riesgo de peligro o mejorar el uso de la tierra.

Por lo tanto, más allá de las evaluaciones costo beneficio o técnicas tradicionales, los factores sociales, de gobernanza e institucionales también pueden limitar las opciones de adaptación.

Finalmente, en las últimas tendencias de la adaptación al cambio climático, la infraestructura verde se ha posicionado como una estrategia crítica tanto en la mitigación como en la adaptación al cambio climático y consiste en sistemas interconectados compuestos por espacios abiertos naturales o artificiales y características del paisaje que pueden proporcionar beneficios ecosistémicos multifuncionales (Cheng et al., 2017).

4.2.4. Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial es el acondicionamiento del territorio para el desarrollo sostenible de la vida en sociedad, el cual se materializa por la política de Estado y los procesos de gestión, planificación concertada entre actores del mismo territorio y la definición de la ocupación ordenada y el uso sostenible de los recursos (I. López & Etulain, 2019).

Junto con el cambio climático, el cambio en el uso de la tierra ha influido en los servicios de los ecosistemas relacionados con el agua (Lyu et al., 2019). Así como el cambio climático afecta el suministro del agua al modificar variables como la temperatura y la precipitación, el cambio en el uso de la tierra es una perturbación antropogénica que altera la generación de escorrentía superficial, modifica la demanda y el suministro de agua e impacta los procesos hidrológicos de las cuencas, incluida la capacidad de filtración del suelo, la evapotranspiración superficial y la recarga y descarga de aguas subterráneas (Daneshi et al., 2021). Debido a la presión que tienen los recursos hídricos debido a las prácticas humanas de organización de la tierra, se deben diseñar estrategias de gestión y planificación de los recursos hídricos desde un punto de vista sostenible.

La infraestructura verde sirve como herramienta de planificación para las tierras públicas existentes: parques, reservas forestales, vías verdes, senderos, callejones y zonas de derecho de paso, puesto que permite utilizar áreas abiertas no utilizadas en las ciudades (Liu et al., 2020). Los planificadores actualmente enfrentan desafíos en el

rediseño de instalaciones para aumentar la sostenibilidad y tienen la intención de formular políticas respecto al mantenimiento de las cuencas hidrográficas y la escasez del agua, aspectos a los que la infraestructura verde puede apoyar como una práctica innovadora dentro del ordenamiento del territorio (Matthews et al., 2015).

4.3. MARCO LEGAL

Dentro de este marco legal se establece la legislación nacional aplicable al proyecto, en la tabla 5 se encuentra un resumen de la normatividad en cuanto al Cambio Climático, los Planes de Ordenamiento Territorial y la protección a recursos naturales (cuencas hidrográficas).

Tabla 5. Relación de normatividad relacionada con la gestión de cuencas hidrográficas.

Item	Clase, Numero, Año	Descripción
1.3.1	Constitución Política de Colombia de 1991	Es una herramienta para fortalecer la unidad de la Nación y asegurar a los colombianos la vida, la convivencia, el trabajo, la justicia, la igualdad, el conocimiento, la libertad y la paz.
	Ley 2 de 1959	Por el cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.
	Ley 23 de 1973	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
	Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.
	Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
	Ley 388 de 1997	Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones
	Ley 629 de 2000	Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el



Item	Clase, Numero, Año	Descripción
		Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
	Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
	Ley 1931 de 2018	Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático.
	Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
	Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
	Decreto 879 de 1998	Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial.
	Decreto 150 de 1999	Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial.
	Decreto 150 de 1999	Por medio del cual se reglamenta la Ley 388 de 1997
	Decreto 3600 de 2007	Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.
	Decreto 1077 de 2015	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para planificar, ordenar y manejar las cuencas hidrográficas y acuíferos.
	Decreto 1807 de 2014	Se reglamenta e incorpora la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, condiciones y escalas de detalle para la delimitación de áreas de amenaza y con condiciones de riesgo, junto con las medidas específicas de mitigación.
	Decreto 1076 de 2015	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 298 de 2016	Por el cual se modifican los artículos 2.2.9.6,1.9., 2.2.9.6.1,10. y 2.2.9.6.1,12. del Libro 2, Parte 2, Título 9, Capítulo 6, Sección 1, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Tasa por Utilización de Aguas y se dictan otras disposiciones.



Item	Clase, Numero, Año	Descripción
	Decreto 926 de 2017	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 1155 de 2017	Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 2245 de 2017	Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.
	Decreto 50 de 2018	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.
	Acuerdo 617 de 2015	Por el cual se establece en Bogotá D.C. el Programa de Investigación en Ciencias y Cambio Climático y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 2202 de 2006	Por la cual se adoptan los Formularios Únicos Nacionales de Solicitud de Trámites Ambientales.
	Resolución 1514 de 2012	Por la cual adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos.
	Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 1213 de 2016	Por la cual se deroga la Resolución No. 819 de 2015, y se toman otras determinaciones.
	Resolución 1571 de 2017	Por la cual se fija la Tarifa Mínima de la Tasa por Utilización de Aguas.
	Sentencia AP-25000-23-27-000-2001-90479-01	Implementación de medidas para descontaminar el río Bogotá
	CONPES 3242 de 2003	Estrategia Institucional para la venta de Servicios ambientales de mitigación del cambio climático.
	CONPES 3700 de 2011	Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia.

Fuente: Autora basada en normatividad.

5. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

5.1. Área de estudio

La cuenca media del río Bogotá se localiza en las zonas de mayor ocupación urbana de la cuenca y abarca el embalse del Muña y el sistema hídrico de Bogotá: los ríos Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo. En el norte limita desde el Puente de la Virgen, del municipio de Cota, hasta el Embalse del Muña, compuertas de Alicachín en la jurisdicción de Soacha en el Sur, con un recorrido de 68 kilómetros entre sus límites y atravesando 11 entes territoriales: Bogotá, D.C., Chipaque, Funza, Mosquera, Soacha, Sibaté, Subachoque, El Rosal, Madrid, Bojacá y Facatativá (Ver figura 1).

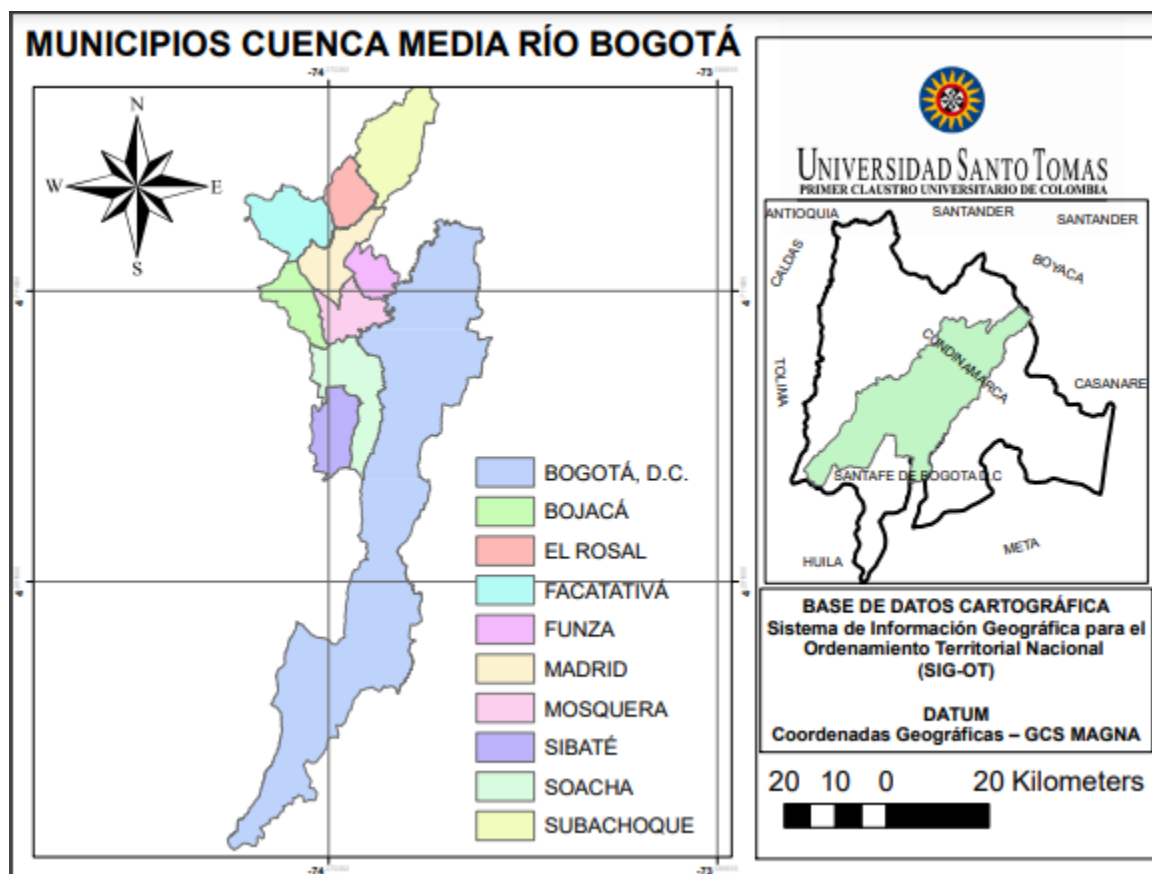


Figura 1. Ubicación, recorrido y municipios de la cuenca media del Río Bogotá. Fuente: Elaboración propia.

La cuenca media recibe desechos de diferentes fuentes, industriales y domésticos, principalmente de la ciudad de Bogotá; además de conexiones erradas, erosión de los cerros orientales, incorrecta disposición de residuos sólidos, ocupación de las rondas hídricas y uso de fertilizantes (Secretaría Distrital de Planeación, 2014).

5.2. Procedimientos e instrumentos

El análisis de la información se realizó por medio de análisis documental y de contenido de la información recopilada sobre de cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial en documentos seleccionados, para identificar las principales problemáticas asociadas con estas temáticas. Con el fin de realizar una aproximación preliminar de exploración cuantitativa de datos, el análisis se complementó con un análisis semántico por medio de análisis multivariado de Clúster y componentes principales (PCA). La información procesada por análisis de contenido se consolidó en arboles de problemas y objetivos con el fin de formular estrategias de desarrollo sostenible de la cuenca media del Río Bogotá, el resumen de la estrategia metodológica se presenta a continuación:

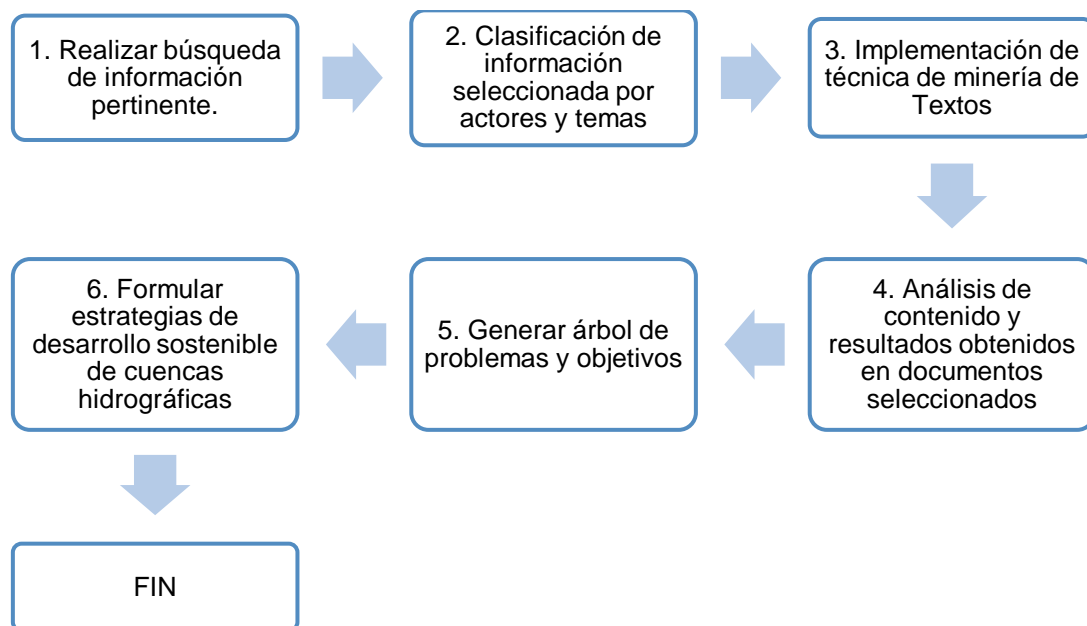


Figura 2. La figura representa la metodología a desarrollar en el del presente estudio académico.



5.2.1. Búsqueda de información pertinente.

De acuerdo a los alcances de la presente investigación se inició con la búsqueda de información pertinente generada durante los últimos diez años en relación con cambio climático en la cuenca media del Río Bogotá e información sobre escenarios actuales y futuros de la zona de estudio. Así mismo se realizó una identificación detallada y selectiva de la base de datos con la que cuenta el grupo de investigación del programa de Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas de la Universidad Santo Tomás, sobre la temática de cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial en la cuenca del río Bogotá, y se alimentó esta base de datos existente con la información recopilada durante el desarrollo de la presente investigación sobre el desarrollo sostenible de la cuenca objeto de estudio.

La documentación recopilada fue de tipo académica, consultoría e institucional:

1. La información académica y científica fue obtenida de los repositorios institucionales de las entidades de educación superior registradas en el Ministerio de Educación, localizados en el departamento de Cundinamarca, en las bases de datos científicas existentes sobre cambio climático en la cuenca objeto de investigación y plataformas académicas como Google Scholar, Science Direct.
2. La información de consultoría fue recopilada del directorio de actores ambientales para las ONG's, de la plataforma ORARBO, en donde se seleccionaron las organizaciones que, a la fecha, están activas y reconocidas a nivel internacional de acuerdo a sus aportes a la ciencia en temas de adaptación y cambio climático.
3. La información institucional del sector gubernamental fue recopilada de la plataforma denominada Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá ORARBO la cual es un instrumento de dirección y gestión integral que orienta de manera organizada el proceso de búsqueda documental. Así mismo se revisaron las plataformas existentes de las autoridades ambientales que tienen jurisdicción sobre la cuenca del Río Bogotá y demás autoridades de carácter nacional que generan aportes al conocimiento en tema transversales como cambio climático y gestión del riesgo.

En esta fase de recopilación de información se obtuvo una base de datos con 197 documentos.

5.2.2. Clasificación de la información

Con el objetivo de realizar el proceso de caracterización de la información recopilada, inicialmente se realizó un análisis general de cada uno de los documentos obtenidos recopilación de información, se clasificó por nombre, autor, año de publicación, URL. Además, se realizó una caracterización de la información que permitiera identificar los principales temas estudiados relacionados con cambio climático sobre la cuenca media del Río Bogotá, a saber: cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

5.2.3. Implementación de minería de textos.

La minería de textos se implementó como una estrategia complementaria para realizar una aproximación preliminar a los datos y, posteriormente, proceder al análisis cualitativo, documental y de contenido de los documentos seleccionados. La minería de textos “se encarga de aprovechar y desarrollar métodos automatizados para procesar documentos digitales no estructurados de forma rápida y eficiente, con la finalidad de organizarlos y analizarlos” (Contreras, 2016, p. 34). Dentro de esta técnica, se realizó un análisis semántico de textos teniendo en cuenta las frecuencias y distancias entre conceptos. Para ello se hizo un análisis multivariado que consistió en un análisis clúster para definir la agrupación de los temas y luego un análisis de componentes principales (PCA) para definir las relaciones entre esos conceptos clave.

Esta minería se llevó a cabo por medio de un lenguaje de programación Python a través del software Anaconda, con el fin de obtener tablas de frecuencias con los documentos. Python es un lenguaje interpretado, orientado a objetos de alto nivel. Pese a que fue creado como lenguaje de programación de uso general, cuenta con una serie de librerías y entornos de desarrollo muchas tareas propias de Ciencia de Datos. Entre

sus ventajas se encuentra la potencia, su carácter open source y su facilidad de aprendizaje.

Para realizar dichas tablas de frecuencias se llevaron a cabo los siguientes pasos principalmente:

1. Unión de todos los documentos, según el tópico, en uno solo. Esto, para facilitar la tarea de importar los mismos.
2. Eliminación de Stop Words
3. Elaboración de tablas de frecuencias.

Para empezar, se unieron todos los documentos en uno solo, se prefirió el formato Word debido a la facilidad para que Python leyera este tipo de formato. Se usó el paquete *docx2txt* para importar este archivo unificado. Python permite usar el paquete a través del comando *import* que lo prepara y lo deja listo para el uso del usuario.

El paquete usado para minería de texto en el presente trabajo es NLTK (Natural Language Toolkit), que es un conjunto de programas para el procesamiento del lenguaje natural (PLN). Entre las áreas que usan este complemento se pueden encontrar lingüística empírica, las ciencias cognitivas, la inteligencia artificial, la recuperación de información, y el aprendizaje de la máquina (Bird, 2006)

Este complemento es fundamental para detectar y tratar las *Stopwords*. Las *Stopwords* son palabras “vacías” que no tienen un significado por sí mismas, suelen ser palabras como artículos, pronombres, preposiciones o adverbios. En el procesamiento de datos estas palabras son filtradas antes del uso de herramientas, ya que, de lo contrario, se pueden encontrar tablas de frecuencias llenas de estas *Stopwords*. Así, descargamos estas palabras a través del comando.

```
nltk.download('stopwords')
from nltk.corpus import stopwords

stop=(stopwords.words("spanish"))
```

Como se observa se descargan las *Stopwords* en español ya que todos los textos fueron consultados en este idioma.

Para el siguiente paso se importa el complemento CountVectorizer que permite contar el número de palabras en el texto:

```
from sklearn.feature_extraction.text import CountVectorizer
```

Se define ahora la función *get_top_n_words* que usando la función CountVectorizer cuenta y clasifica el número de palabras más populares que el usuario elija. Si el usuario elije el parámetro *n=20* el programa mostrará las 20 palabras más comunes en todo el texto (excluyendo las *Stopwords*). Esta lista de palabras se ordenará de mayor a menor frecuencia.

```
def get_top_n_words(corpus, n=1, k=1):  
    vec = CountVectorizer(ngram_range=(k, k), stop_words = 'spanish').  
fit(corpus)  
    bag_of_words = vec.transform(corpus)  
    sum_words = bag_of_words.sum(axis=0)  
    words_freq = [(word, sum_words[0, idx]) for word, idx in vec.voc  
abulary_.items()]  
    words_freq = sorted(words_freq, key = lambda x: x[1], reverse=True)  
e)  
    return words_freq[:n]
```

Con las tablas de frecuencias obtenidas se analizaron los resultados por medio de nubes de palabras con WordArt y gráficos de rectángulos obtenidos en Excel. El análisis de clúster y de PCA se realizó por medio del software PAST. El primero, el análisis de Clúster se realizó por medio del método Ward y el índice de similitud euclidiano. En el análisis PCA se tuvo en cuenta el porcentaje de explicación de la varianza y el *mínimum spanning tree* para trazar la línea continua de relaciones entre los conceptos seleccionados.

5.2.4. Análisis y resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta esta visión general dada por la minería de textos, se eligieron 50 documentos para un análisis más profundo de las problemáticas y estrategias de solución implementadas, atendiendo los objetivos de la investigación. Los criterios de

inclusión de estos documentos fueron: 1) ser un estudio institucional o académico publicado entre 2011 y 2021; 2) tener dentro de su área de estudio la cuenca media del Río Bogotá; 3) presentar resultados frente a problemáticas o soluciones en alguna de las tres temáticas: cambio climático, gestión del riesgo y/o ordenamiento territorial y 4) los resultados son producto de la aplicación de técnicas válidas de investigación científica cuantitativa y/o cualitativa.

Para estos documentos, se construyó una nueva base de datos en Excel, donde se ampliaron las categorías de análisis para identificar los problemas respecto al cambio climático, gestión del riesgo y ordenamiento territorial; así como las soluciones planteadas a dichas problemáticas. En este análisis se obtuvo información cuantitativa y cualitativa que se analizó por medio de gráficos y análisis de contenido, con el fin de describir las tendencias de la información según las temáticas y subtemáticas.

5.2.5. Árbol de problemas y objetivos

De acuerdo con las principales problemáticas halladas en los documentos seleccionados, se estructuró un árbol de problemas, el cual permitió identificar las principales causas del manejo insostenible de la cuenca media del río Bogotá y sus principales consecuencias. A continuación, se transformó dicho árbol en uno de objetivos, el cual permite visualizar las estrategias que mejor impacto pueden tener en las principales problemáticas de este cuerpo de agua.

5.2.6. Formulación de estrategias de desarrollo sostenible.

Partiendo del árbol de objetivos y las propuestas ya realizadas en la información analizada de los últimos 10 años, se propusieron estrategias de desarrollo sostenible para atender las problemáticas del cambio climático, atendiendo a criterios teóricos y de política pública.

6. RESULTADOS

Los resultados de la revisión de la información producida sobre la cuenca media del río Bogotá, en cumplimiento con los objetivos específicos planteados, se organizan en tres secciones. En la primera se caracteriza la información producida en los últimos 10 años mediante análisis estadístico de los documentos incluidos; en la segunda, se consolidan y analizan las principales problemáticas ambientales halladas en estas investigaciones y las soluciones propuestas; en la tercera, se proponen estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático considerando los lineamientos nacionales y de política.

6.1. Caracterización de la información producida en los últimos 10 años.

En esta sección se caracteriza la información publicada en los últimos 10 años, primero, a partir del análisis de minería de textos y las frecuencias de palabras de toda la información recolectada; y segundo, según el análisis de los 50 documentos incluidos en la revisión para profundizar los resultados de las problemáticas y estrategias de solución.

El análisis de frecuencias en la información recolectada de los últimos 10 años de la cuenca media del río Bogotá indica que las principales temáticas abordadas implican el uso del agua y su relación con la ciudad y la ocupación urbana, debido a la ubicación de esta parte de la cuenca en el área metropolitana de Bogotá y municipios aledaños (ver figura 3). Otras temáticas abordadas implican el planteamiento de modelos de ciudad y modelos para trabajar con datos de medición del nivel de agua, precipitaciones, caudal y, sobre todo, su calidad. De allí que se hable frecuentemente del uso adecuado del agua, planes de gestión ambiental y tratamiento de la calidad del agua.



Figura 3. Nube de palabras de la información de la cuenca media del río Bogotá de los últimos 10 años. Elaboración propia.

El análisis de agrupamiento entre las principales problemáticas presentes en la cuenca media del Río Bogotá evidencia la fuerte relación que existe entre los conceptos de mayor frecuencia en relación a las temáticas principales referentes al cambio climático y los de gestión del riesgo, y la relación de este clúster con las problemáticas de ordenamiento territorial, con un coeficiente de correlación de 0.93 (ver figura 4). En efecto, las problemáticas del cambio climático se presentan debido a procesos hidrológicos alterados, condiciones inadecuadas de infraestructura, bajo compromiso social y ecosistemas vegetales desajustados; estos son problemas que están relacionados con las debilidades que atañen a la temática de gestión del riesgo: deforestación, debilidades en infraestructura y los sistemas de gestión del riesgo, invasión de la ronda y riesgo de inundación. A su vez, problemáticas del cambio climático y gestión del riesgo como el bajo compromiso social y la invasión de la ronda hídrica, se relacionan con los conflictos por el uso del suelo y la falta de visión y planeación en el ordenamiento territorial.

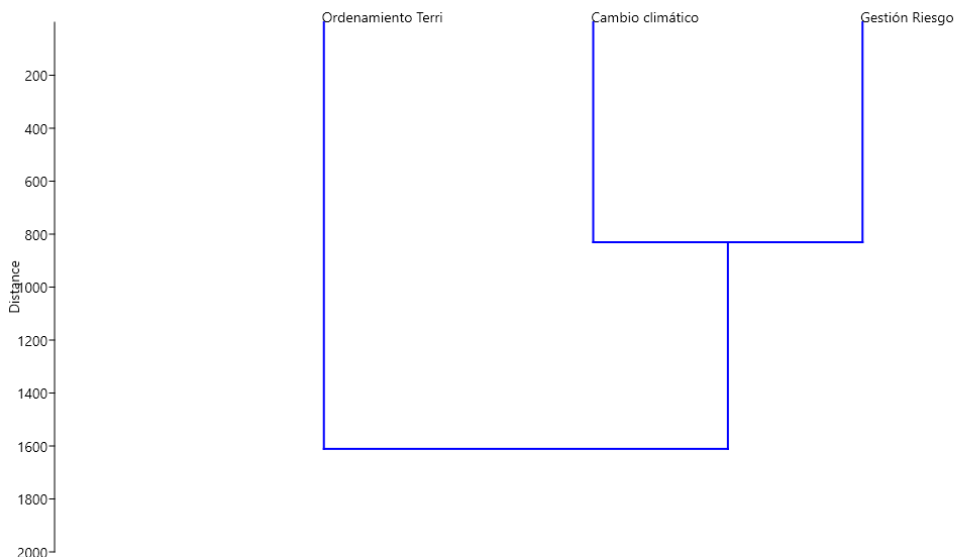


Figura 4. Análisis de agrupamiento entre los conceptos de mayor frecuencia teniendo en cuenta las temáticas principales en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Distancia por el método Ward: coeficiente de correlación 0,93.

Por su parte, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA) con los conceptos de mayor frecuencia en referencia a las problemáticas ambientales de la cuenca media del río Bogotá, con las relaciones principales entre ellos (ver figura 5).

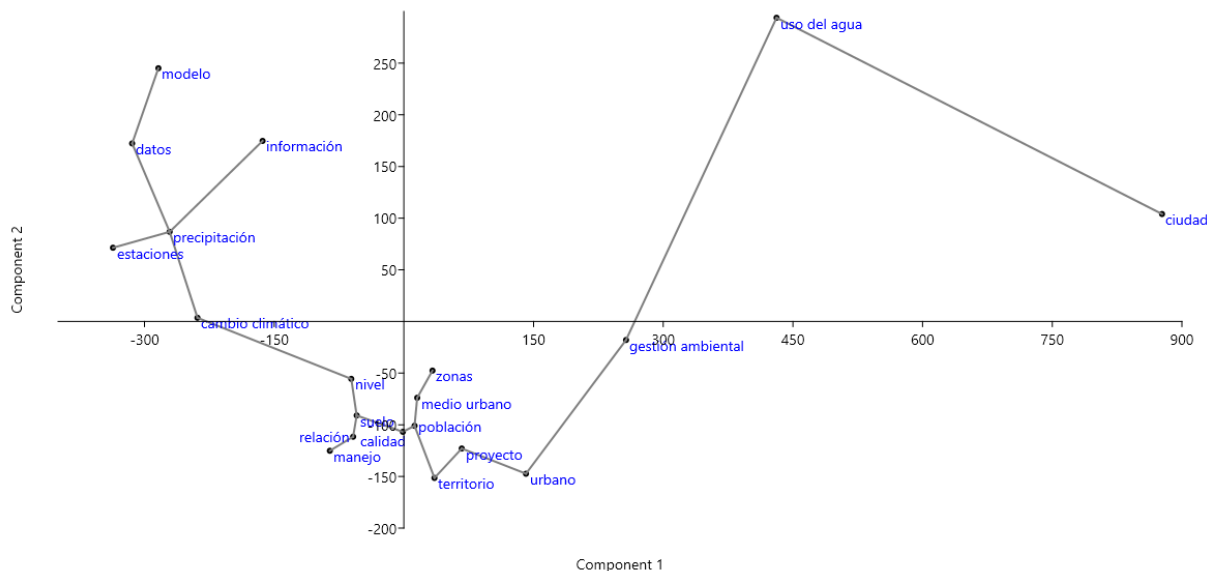


Figura 5. Análisis de componentes principales (PCA), “*mínimum spanning tree*” (líneas conectoras) de las problemáticas presentes en la cuenca media del Río Bogotá.

En el análisis PCA se obtuvo que el componente 1 explica el 70.87% de la variabilidad de los datos y el componente 2 el 20.84%; es decir, ambos componentes explican el 91.68% de la variabilidad de los datos, lo que implica que el análisis tiene validez estadística. En el análisis de los conceptos de mayor importancia y asociación visibles en el *mínimum spanning tree* (ver figura 5), se puede observar en las líneas conectoras que la ciudad se relaciona con el uso del agua y la gestión ambiental urbana. En este sentido, uno de los temas centrales de la cuenca media del río Bogotá se encuentra en su paso por la capital colombiana, que lleva el mismo nombre, lo que ha traído problemas de contaminación y retos para la gestión ambiental del río por la ciudad (EPAM SA, 2014; Luis, 2018; Peña et al., 2016).

Siguiendo las líneas conectoras se observa que existen varios conceptos entrelazados y que se derivan de la población, es decir, la población define el uso del territorio, el medio y zonas urbanas, uso del suelo, calidad y los proyectos de manejo ambiental. En efecto, recurrentemente los estudios de la cuenca media del Río Bogotá han reconocido el papel preponderante que tienen los agentes sociales para reducir el daño ambiental, prevenir y gestionar el riesgo, ordenar adecuadamente el territorio, controlar la contaminación, mejorar la calidad del agua e implementar proyectos de manejo ambiental que permitan recuperar el recurso hídrico (Cárdenas et al., 2017; Cortes & Castro, 2011; Rincón & Mosquera, 2019).

Finalmente, en la ruta de relaciones trazada por las líneas conectoras del *mínimum spanning tree* (ver figura 5), se identifica la asociación existente entre la información, precipitación, cambio climático y nivel. Las investigaciones realizadas en la cuenca media del Río Bogotá han determinado la necesidad de tener sistemas y modelos adecuados de información sobre el agua, por ejemplo, sobre precipitaciones o el nivel de calidad de la misma (Díaz & Camacho, 2012; EPAM SA, 2014). Todo ello con el fin de hacer seguimiento a los efectos del cambio climático, hacer seguimiento a la gestión del riesgo y planear y controlar el ordenamiento territorial.

Dentro de la temática del cambio climático, se identifica que la mayoría de los estudios establecen modelos de datos y de información para la medición, seguimiento y proyección de la calidad del agua y nivel del caudal de los cuerpos de agua (ver figura

6). Así mismo, las preocupaciones se encuentran en el cambio climático, el nivel de emisiones, el uso del agua, la reducción del consumo, nuevas fuentes de energía y mejora de redes de alcantarillado y distribución.



Figura 6. Temáticas frecuentes en la información respecto al cambio climático. Elaboración propia.

En la temática de gestión del riesgo, la información de la cuenca media del río Bogotá se ha centrado en el uso adecuado del agua, las redes de alcantarillado y el tratamiento del agua en la ciudad, los cuales tienen una influencia directa en el riesgo de inundaciones (ver figura 7). Por ello, estos estudios han centrado sus esfuerzos en buscar el manejo adecuado del recurso hídrico, tener fuentes de información para el seguimiento del nivel del caudal y la gestión ambiental para prevenir dichos riesgos.



Figura 7. Temáticas frecuentes en la información respecto a la gestión del riesgo. Elaboración propia.

En la temática del ordenamiento territorial las principales temáticas giran alrededor del manejo de las zonas urbanas, el uso del agua y la gestión ambiental en el entorno urbano (ver figura 8). Ante estos temas, algunas palabras clave relacionadas han sido el territorio, espacios, medio urbano, áreas, relaciones de la población y proyectos y planes de ordenamiento del suelo.



Figura 8. Temáticas frecuentes en la información respecto al ordenamiento territorial. Elaboración propia.

Por otro lado, centrando el análisis en los 50 documentos priorizados para profundizar en las problemáticas de la cuenca media del río Bogotá, en la figura 9 se observa que la mayoría de información se produjo en el año 2018, con el 22%, en el año 2015 (18%) y en el año 2017 (14%). Se identifica entonces que existe menos información producida al principio del periodo (2011 – 2014) y al final del mismo (2019 y 2021), lo que demuestra el creciente interés que existe en los últimos años por la temática.

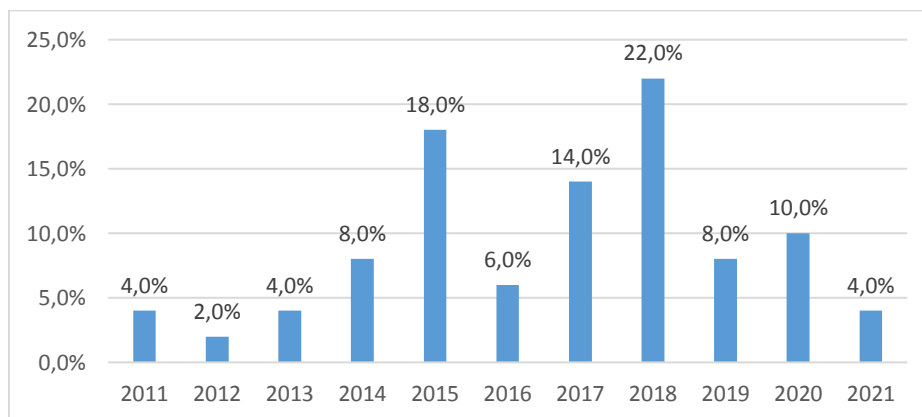


Figura 9. Distribución de la literatura según año de publicación. Elaboración propia.

Por otro lado, la mayoría de la información producida sobre la cuenca media del río Bogotá fue publicada en tesis de grado (48%) y artículos (40%) (ver figura 10). El restante 12% de información incluida se publicó en estudios institucionales, conferencias y capítulos de libros. Estas cifras evidencian la importancia del papel de la universidad y la investigación académica en el reconocimiento de las problemáticas y soluciones alrededor de la gestión de la cuenca media del Río Bogotá.

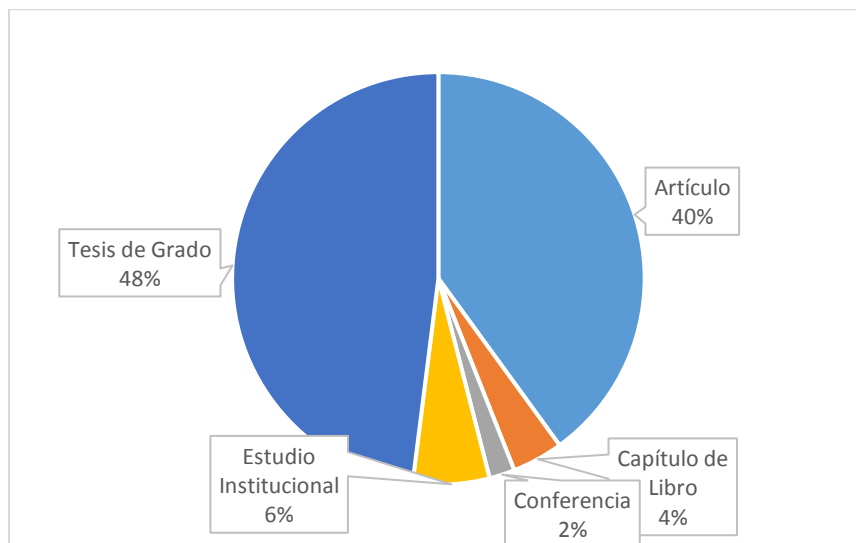


Figura 10. Distribución de la literatura según tipo de documento. Elaboración propia.

La mayoría de las investigaciones se han centrado en estudiar toda la cuenca media de forma general, (22.2%); mientras que otro grupo de estudios la ha estudiado de forma conjunta con la cuenca baja y/o la cuenca alta (19%) (ver figura 11). Dentro de la cuenca media se destaca el interés por estudiar en sectores representativos como el río Tunjuelo (14.3%), Río Fucha (11.1%), Río Salitre (9.5%) y Río Torca (7.9%). El estudio de la cuenca media ha sido extensivo hacia las localidades y municipios ubicados al sur de Bogotá (Río Tunjuelo), de oriente a occidente (Río Salitre y Río Fucha) y en el norte (Río Torca).

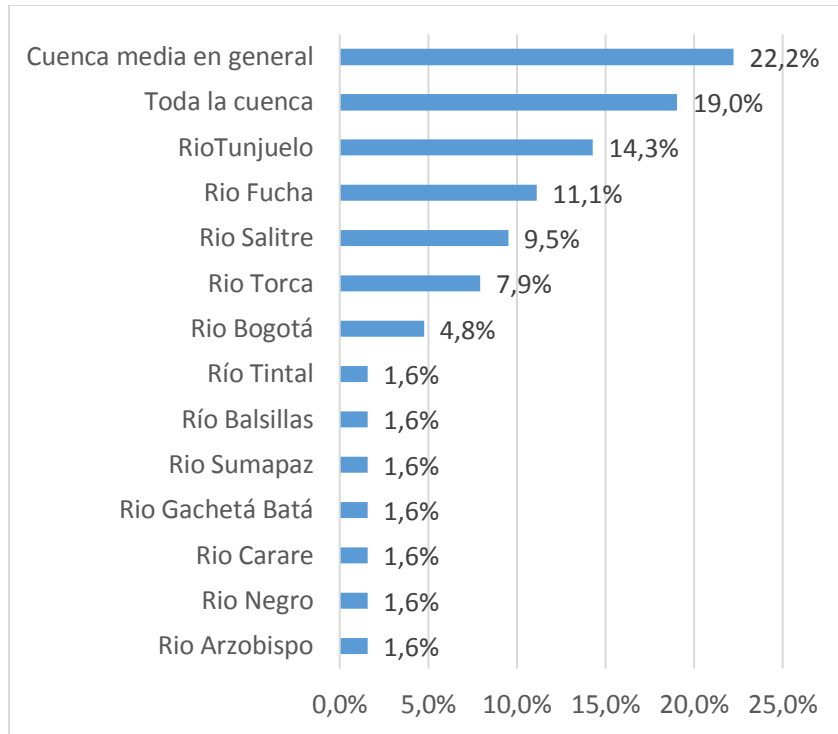


Figura 11. Distribución la sección de cuenca media del Río Bogotá en donde se obtuvo información. Elaboración propia.

En conjunto, en esta subsección se ha caracterizado la información que se ha producido en los últimos 10 años en la cuenca media del río Bogotá a nivel general por minería de datos y a nivel específico mediante los estudios seleccionados. A continuación, se detallan las problemáticas y soluciones tratadas en los estudios seleccionados para el análisis, teniendo en cuenta su frecuencia de aparición y elementos relevantes comunes.

6.2. Problemáticas ambientales y soluciones propuestas en la cuenca media del río Bogotá.

La información publicada sobre la cuenca media del Río Bogotá, en el periodo 2011 – 2021, evidencia que las problemáticas ambientales principales que le atañen al recurso hídrico son las referentes al cambio climático, con el 49% de los documentos (ver figura 12). Le siguen las problemáticas de gestión del riesgo (26.5%) y el ordenamiento territorial (24.5%).

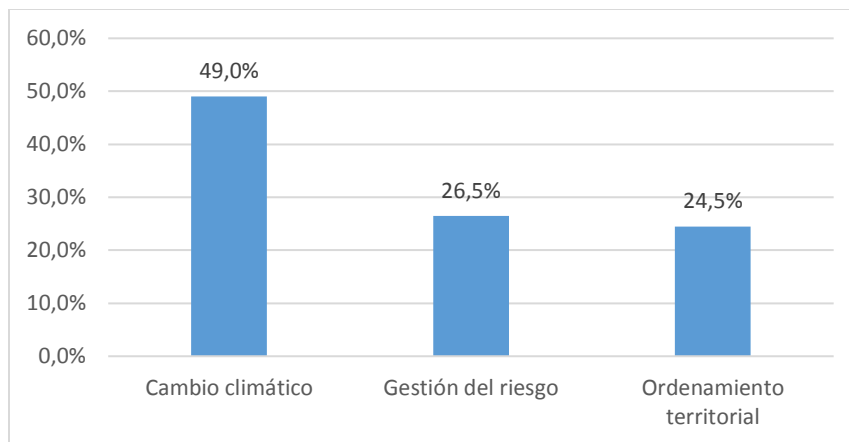


Figura 12. Distribución de las principales problemáticas presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

A continuación, se detallan los hallazgos de estos estudios respecto a estas problemáticas.

6.2.1. Problemáticas de cambio climático.

Dentro de las problemáticas del cambio climático, la baja calidad del agua ha sido la preocupación más frecuente, con el 56% de los estudios que la documentan (ver figura 13). Las demás problemáticas han sido los procesos hidrológicos alterados (22%), bajo compromiso social y gobernabilidad (10%), desajustes en ecosistemas, bosques y cobertura vegetal (6%) y futuras condiciones inadecuadas de infraestructura (6%).

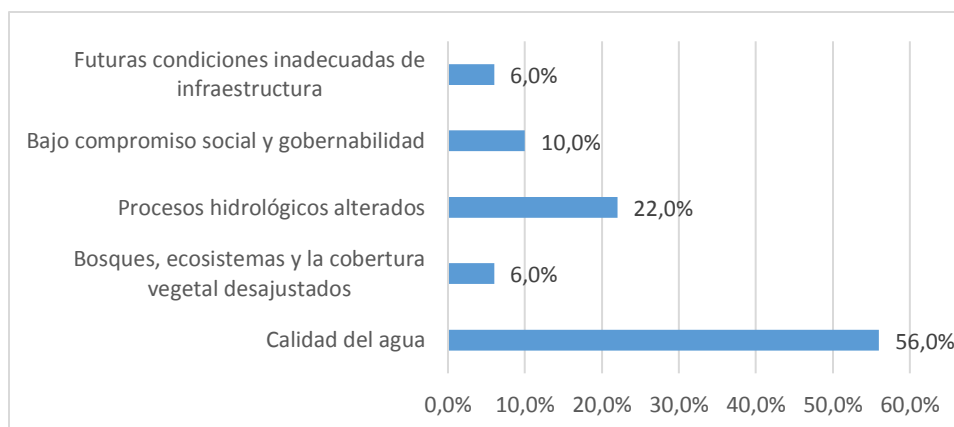


Figura 13. Distribución de las problemáticas de cambio climático presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.



Respecto a la calidad del agua, se han encontrado bajos índices de calidad del agua en la cuenca media del río Bogotá, especialmente en los tramos posteriores luego de atravesar la ciudad capital (EPAM SA, 2014; Luis, 2018; Peña et al., 2016). Lo anterior se evidencia en que entre el 51.78% y el 55.8% de la huella hídrica que genera la ciudad de Bogotá es gris, por contaminación (Castilla et al., 2018; Ivanova et al., 2018), el 54% de los índices evidencian una calidad del agua es baja (Castro et al., 2015) y la presencia de metales pesados como plomo, zinc, manganeso, cobre, cobalto, yodo y cadmio (Cortes & Castro, 2011; Jaramillo & Cabrera, 2014; Pinzón & Ramírez, 2018; Secretaría Distrital de Planeación, 2014). Las consecuencias de la contaminación abarca riesgos potenciales para la salud (Herrera et al., 2020), malos olores y fetidez (Martínez, 2020). Bogotá es un entorno urbano en el que las acciones antrópicas claramente modifican la calidad del agua de la cuenca media; lo que genera efectos negativos para la misma ciudad a nivel de paisajismo y riesgos para la salud.

Las principales causas de esta pérdida de la calidad del agua de la cuenca media del Río Bogotá se pueden visualizar en la tabla 6. La mayoría de literatura coincide en catalogar los vertimientos industriales, agrícolas y domésticos como las principales causas; no obstante, existen diferentes estudios que también documentan causas como los vertimientos del sector de curtiembres, los lixiviados generados por la operación del relleno sanitario Doña Juana, mala disposición de residuos sólidos y escombros, deficientes sistemas de alcantarillado y conexiones erradas, descargas contaminantes de centros de salud, políticas de separación del río, es decir, de no tratamiento de la contaminación, incumplimiento de convenios y obras inconclusas. Este panorama de factores contaminantes evidencia que el sector empresarial y poblaciones aledañas al río son los principales responsables de la contaminación del mismo por medio de vertimientos y mala disposición de residuos, lo cual determina la necesidad de intervenciones futuras para el control de los mismos.

Tabla 6. Causas de la pérdida de la calidad del agua en la cuenca media del Rio Bogotá.

Causa	Autores
Vertimientos industriales	(Bejarano, 2015; Bernal & García, 2011; Castaño & Urrego, 2015; Castilla et al., 2018; Castro et al., 2015; Cristancho et al., 2019; Mesa et al., 2017; Peña et al., 2016; Santafe, 2012; Secretaría Distrital de Planeación, 2014; Silva, 2016; Torres & Moreno, 2019)
Vertimientos del sector agrícola	(Corrales et al., 2018; Cortes & Castro, 2011; Cristancho et al., 2019; Jaramillo & Cabrera, 2014; Santafe, 2012; Villegas, 2014)
Vertimientos domésticos y crecimiento poblacional	(Bernal & García, 2011; Castaño & Urrego, 2015; Castilla et al., 2018; Cortes & Castro, 2011; Peña et al., 2016; Silva, 2016)
Vertimientos del sector de curtiembres	(Castaño & Urrego, 2015; Silva, 2016)
Generación de lixiviados por la operación del relleno sanitario Doña Juana	(Álvarez & Murillo, 2019; Castaño & Urrego, 2015; Herrera et al., 2020)
Mala disposición de residuos sólidos y escombros	(Bejarano, 2015; Herrán, 2017; Herrera et al., 2020; Ortegón & Rubio, 2020; Secretaría Distrital de Planeación, 2014; Torres & Moreno, 2019)
Deficientes sistemas de alcantarillado y conexiones erradas	(Álvarez & Murillo, 2019; Castaño & Urrego, 2015; Herrán, 2017; Herrera et al., 2020)
Descargas contaminantes de centros de salud	(Ospina, 2018)
Políticas de separación del río (no tratamiento), incumplimiento de convenios y obras inconclusas.	(Gómez, 2017)

Fuente: Elaboración propia a partir de la evidencia documental.

Respecto a los procesos hidrológicos del río, la literatura referencia diferentes factores que afectan disponibilidad de agua, evidentes en Índices de Regulación y Retención Hídrica bajos y muy bajos, Índices de Aridez moderados, Índices de uso de agua altos y muy altos, índices de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico alto y muy alto, y disminución de la oferta hídrica superficial (Camelo, 2018). Esto se ha hecho evidente en la pérdida del Estado de Conservación de la cuenca del 51% al 35% (Contraloría de Bogotá, 2020). Este contexto es más grave si se considera que Bogotá es una ciudad altamente dependiente del agua de otras regiones y su huella hídrica es insostenible (Castilla et al., 2018). La función de abastecimiento de agua de la cuenca

media del Río Bogotá es limitada frente a la presión antrópica de consumo, invasión de rondas y destrucción ambiental.

Las causas de la pérdida de estos procesos hídricos son diversas, pero se destacan las funciones de regulación de la Estructura Ecológica Principal (EEP) en peligro de degradación (Montoya & Rivera, 2021), la presión y explotación intensiva sin tecnologías adecuadas que ejercen las actividades mineras, floricultura, agricultura, profundizados por la falta de oportunidades y alternativas de subsistencia de quienes se dedican a estas actividades (Castaño & Urrego, 2015; Charry & Delgado, 2014; Cortes & Castro, 2011; Güiza et al., 2015; Villegas, 2014), alta demanda de agua (EPAM SA, 2014) y deficiencia de los datos de dicha demanda (Herrán, 2017). La cuenca media del río Bogotá tiene funcionalidades de abastecimiento en las áreas rurales y de recepción de desechos en el área urbana; tanto el uso, como la contaminación del recurso hídrico afecta los procesos hídricos de la cuenca.

Otra problemática que se ha hecho relevante ha sido el bajo compromiso social y gobernabilidad del agua, visible en la falta de educación y cultura para el uso eficiente del agua, bajo sentido de pertenencia, evasión de normas ambientales, desarticulación sectorial y crisis de gobernanza del agua (Cárdenas et al., 2017; Silva, 2016; Villegas, 2014). También se ha hecho evidente la falta de control e interés por las autoridades ambientales, insuficiencia de recursos económicos, la escasez de recursos humanos y asesoría técnica, y la falta de conciencia ambiental de los actores involucrados (Cortes & Castro, 2011; Güiza et al., 2015). Las comunidades son elementos claves en la prevención y proactividad frente a la gestión de cuencas hidrográficas, es decir, no son actores pasivos indefensos receptores de impactos, sino que pueden desarrollar capacidades para prevenir, hacer frente y recuperarse de eventos estresantes a nivel de la cuenca.

Algunas problemáticas mencionadas con menor frecuencia atañen a la pérdida de cobertura vegetal, falta de acondicionamiento de la zona verde y desaparición de especies del ecosistema (Herrán, 2017; Silva, 2016; Villegas, 2014). Además, se mencionan también problemáticas respecto al incumplimiento de convenios interinstitucionales, obras inconclusas (Gómez, 2017), falta de infraestructura para la

interacción adecuada de la población aledaña al río y apropiación del espacio público (Ortegon & Rubio, 2020) y problemas estructurales de alcantarillado pluvial y conexiones erradas (Orozco, 2016). Estas problemáticas son secundarias y se hacen evidentes una vez existe el daño en la cuenca, ya sea por contaminación, invasión de la ronda hídrica o consumo insostenible; es decir, son aquellas problemáticas que se hacen evidentes en la mala gestión de las soluciones estructurales e ingenieriles que se plantean para intervenir la cuenca media del Río Bogotá.

6.2.2. Problemáticas de gestión del riesgo.

Se destaca el riesgo de inundación y la invasión de la ronda del río, ambos con el 25.9% (ver figura 14). También se destacan debilidades en el sistema de gestión (18.5%) y debilidades de infraestructura (14.8%). Con menor frecuencia se documentan problemas de deforestación y riesgo de desabastecimiento.

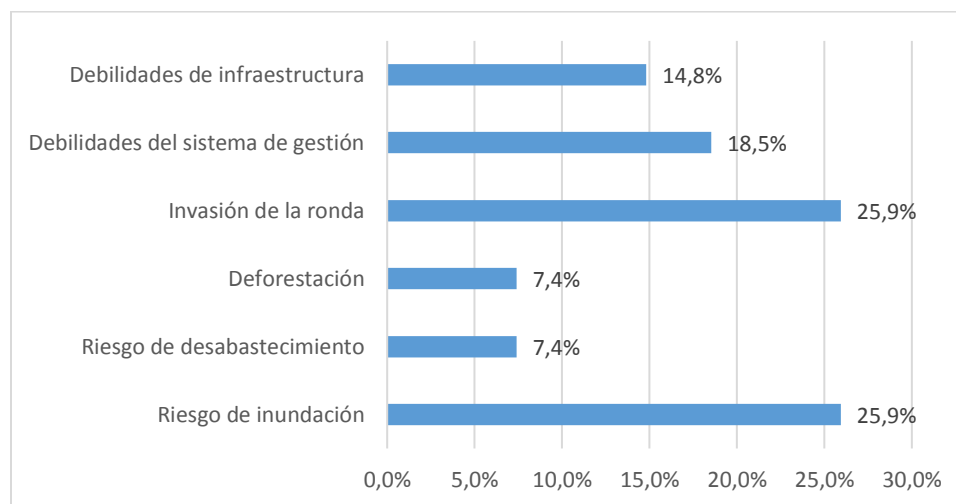


Figura 14. Distribución de las problemáticas de gestión del riesgo presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

El riesgo de inundación y vulnerabilidad a eventos torrenciales ha sido una problemática frecuente en los municipios que comprenden la cuenca media del Río Bogotá, siendo la ciudad capital la que posee el índice de vulnerabilidad a fenómenos de inundación más alto y mayores asentamientos urbanos expuestos (Bohórquez, 2018;



EPAM SA, 2014; González & Quintero, 2015). En efecto, se ha determinado que el 74% de las estaciones de la cuenca constan de bajas capacidades de retención y regulación hídrica, lo que afecta el régimen de los caudales (Moreno, 2018). Las causas relacionadas con el riesgo de inundación corresponden a la fuerza de la naturaleza y obras no realizadas o que alteraron las dinámicas hidráulicas (Villegas, 2014), existencia de sedimentación, influencias antrópicas y baja capacidad del cauce del río para transportar sedimentos (Castaño & Urrego, 2015; Díaz & Camacho, 2012). El riesgo de inundación es la problemática central en la gestión de la cuenca media del Río Bogotá la cual combina causas naturales como los eventos torrenciales o la baja capacidad del río para el transporte de sedimentos; no obstante, las acciones antrópicas incrementan el riesgo por alterar las dinámicas hidráulicas del río y no generar adaptaciones para afrontar dicho riesgo.

Otra problemática frecuente es la invasión de la ronda de los ríos que pertenecen a la cuenca media del Río Bogotá, que generalmente afecta a la población que vive en áreas críticas proclives a inundación (Castaño & Urrego, 2015; Silva, 2016). El proceso de urbanización ha ido abarcando terrenos de amortiguación que pertenecían de forma natural al afluente, limitando la capacidad de la cuenca para afrontar la escorrentía y los asentamientos se han ido ubicando en las llanuras inundables, sin tomar medidas de mitigación y, en algunos casos, desarrollando obras de canalización que restringe la dinámica natural del río, los ecosistemas y la biodiversidad (Costa et al., 2018; Martínez, 2020).

Las acciones antrópicas también se han encargado de llenar de sedimentos el río, han expandido la frontera agrícola, han explotado el aguas subterráneas y han desarrollado infraestructura hídrica y vial que afectan las relaciones en el ciclo hidrológico (Díaz & Camacho, 2012; Urbano, 2014). Lo anterior, sumado a la baja retención hídrica, variación en los caudales, zonas de baja cobertura vegetal, deforestación de márgenes hídricas, suelos fácilmente inundables y elevadas pendientes, conducen a una mayor fragilidad de la cuenca a las inundaciones (Moreno, 2018; Villegas, 2014). La vulnerabilidad ante desastres e inundaciones en la cuenca media del Río Bogotá se incrementa cuando no existe la conciencia social sobre el uso del suelo, una adecuada



planificación territorial y controles efectivos de lo dispuesto en los planes de ordenamiento.

En contraste con lo anterior, ha sido menos frecuente la problemática del desabastecimiento hídrico, no obstante, se ha denunciado el aumento de la vulnerabilidad por este fenómeno, disminución de los caudales, baja recarga de acuíferos, limitación de la disponibilidad de agua por contaminación y decrecimiento en la tasa de oferta (EPAM SA, 2014; Moreno, 2018). Similar a las inundaciones, la escasez de agua en la cuenca también es un efecto de las acciones antrópicas que generan destrucción de la cobertura vegetal, elevado uso y contaminación del recurso hídrico.

La gestión del riesgo también se ha caracterizado por tener debilidades en los sistemas de gestión y de información. Se han encontrado debilidades en la gestión de las autoridades ambientales a cargo del manejo del agua y regulaciones individuales que no tienen en cuenta los fenómenos climáticos ni los niveles de los ríos (Joya, 2015; Villegas, 2014). También se han llevado acciones de fortalecimiento del Comité Local de Emergencias, pero se han descuidado aspectos de fondo como la comprensión del comportamiento del riesgo en la cuenca y limitaciones como la poca disponibilidad de recursos, poca continuidad de los procesos y coberturas parciales de los territorios (Piza, 2017). Los sistemas de gestión robustos y bien implementados tienen la capacidad de prevenir inundaciones y desastres en la cuenca; para ello, se requiere información suficiente, participación comunitaria y voluntades que permitan tener procesos constantes en el tiempo.

Estas debilidades son persistentes debido a que no existen suficientes datos hidráulicos e hidrogeoquímicos y aquellos que ya existen no siempre tienen la suficiente longitud, calidad y continuidad en sus registros (Díaz & Camacho, 2012; EPAM SA, 2014). La disponibilidad de datos e información de forma continua permite llevar a cabo acciones de prevención frente a inundaciones, lo cual evidencia la necesidad de fortalecer tecnologías de seguimiento e implementarlas en sectores de la cuenca en donde no se posee información.

Desde el punto de vista de la infraestructura, las problemáticas de gestión del riesgo se han asociado a la baja calidad de los alcantarillados cercanos a los cuerpos de

agua, obstrucción o baja capacidad de los sistemas de drenaje y poca inversión estatal en sistemas de dragado y adecuaciones (Bejarano, 2015; Herrán, 2017; Joya, 2015). Generalmente las obras de adecuación y recuperación ambiental del río Bogotá se han visto retrasados por cambios radicales en ellas o desacuerdos en su realización (Costa et al., 2018). Las soluciones estructurales, pese a ser temporales y no atacar los problemas de raíz, permiten intervenir el cauce de la cuenca y prevenir futuros desastres. Las falencias en infraestructura es un obstáculo que impide un adecuado crecimiento de la ciudad con una adecuada gestión de la cuenca.

6.2.3. Problemáticas de ordenamiento territorial.

En el ordenamiento territorial, la cuenca media del Río Bogotá ha presentado problemáticas de uso de suelo (52%), falta de visión, errores en la planeación (40%) y debilidades de infraestructura (8%) (ver figura 15).

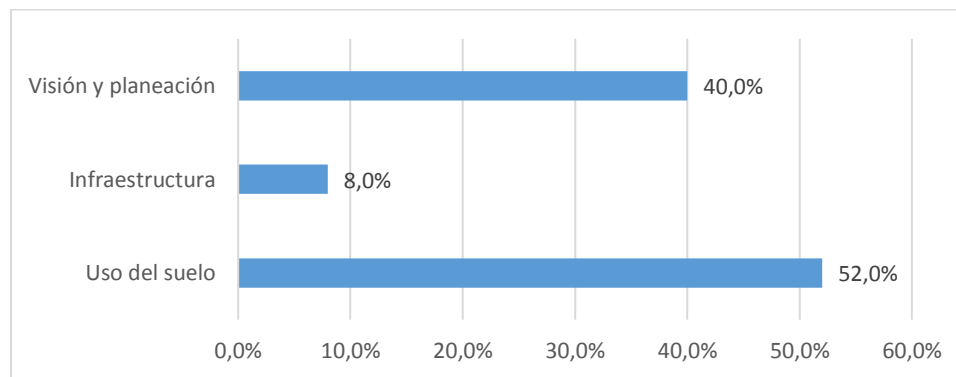


Figura 15. Distribución de las problemáticas de ordenamiento territorial presentes en la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

Las debilidades en el ordenamiento territorial generan presión sobre el uso del recurso hídrico e incrementa los riesgos de inundaciones. Constantemente en la literatura se ha encontrado la ocupación desmedida del suelo de la sabana, la expansión agrícola y la ocupación de los territorios con actividades no compatibles con el uso del suelo (Bejarano, 2015; Bohórquez, 2018; Herrán, 2017; Silva, 2016; Villegas, 2014). Esto ha venido acompañado de depósito de basuras y escombros, deforestación, deterioro de la calidad del agua del río, canalización, destrucción y alteración de los humedales



cercanos a las rondas (Castaño & Urrego, 2015; Contraloría de Bogotá, 2020; Martínez, 2020). El crecimiento poblacional, el aumento de la producción agrícola y los procesos demográficos de migración hacia la capital colombiana han generado la ocupación desordenada del territorio, presionando las rondas de los ríos y humedales.

Como consecuencia, los usos inadecuados del suelo han fragmentado el flujo de servicios ecosistémicos de la cuenca, han conducido a su desbalance hídrico, bajas condiciones sanitarias y de salud de los pobladores y han generado hundimientos, desviaciones, deslizamientos y modificaciones del cauce del río, pérdida de la estabilidad del suelo y destrucción de acuíferos (Barrera, 2015; Díaz, 2013; Gómez, 2017; Secretaría Distrital de Planeación, 2014). En conjunto, el aumento de la población y el área construida no planificada ha afectado la calidad del agua y ha conducido al deterioro ambiental en la cuenca media del río Bogotá (Gómez, 2017; Silva, 2020). Así, la ocupación desordenada presiona el cauce y continuidad de la cuenca, lo que no solo provoca la pérdida ambiental progresiva en la fauna y flora, sino que ocasiona problemas de salud y condiciones para que surjan desastres.

Una problemática muy ligada a lo descrito respecto al uso de suelos es la falta de visión y planeación por parte de la comunidad y los organismos gubernamentales. En efecto, en la cuenca media del Río Bogotá existe presión de crecimiento urbano sin una planeación estratégica y de desarrollo urbanístico, donde el agua sea un elemento estructural para generar modelos de ocupación y actividades económicas sostenibles (Castaño & Urrego, 2015; Charry & Delgado, 2014; Montoya & Rivera, 2021; Moreno, 2018). Esto se ha acompañado de deficiente dotación urbanística en los desarrollos no planificados, pues el crecimiento de la población y área de construcción no son equivalentes (Silva, 2020). Desde las administraciones municipales que tienen influencia en la cuenca media del Río Bogotá, se ha priorizado el crecimiento bajo intereses particulares de expansión de usos del suelo que no son coherentes con el desarrollo sostenible; en el mejor de los casos, se disponen de áreas de protección sin los adecuados desarrollos urbanísticos (senderos, parques, etc.) que integren la cuenca con usos adecuados de la población.



Esto principalmente ha estado ligado a una desarticulación regional de las iniciativas municipales y los instrumentos de planificación territorial del desarrollo, falta de visión del concepto de región por parte de las CAR, la inexistencia de una política única de gestión ambiental de la cuenca, dispersión de recursos y esfuerzos, baja capacidad institucional (Güiza et al., 2015; Olarte, 2017; Secretaría Distrital de Planeación, 2014; Villegas, 2014). Como consecuencia, la cuenca ha presentado impactos sociales y económicos, deterioro del recurso ambiental y altos costos en los recursos públicos al tener que intervenir de forma correctiva (Silva, 2020). La falta de visión y planeación alrededor de la cuenca ha producido dispersión de esfuerzos por parte de los entes territoriales y las comunidades, lo que conduce a soluciones temporales, estructurales, con poco impacto en el desarrollo sostenible de la cuenca a largo plazo.

A manera de síntesis y análisis, a continuación, se estructura el árbol de problemas ambientales de la cuenca media del Río Bogotá (ver figura 16). El problema principal es el manejo insostenible de la cuenca media del Río Bogotá, lo cual está causado por la alta vulnerabilidad que existe al cambio climático y la contaminación, las bajas capacidades de retención y regulación hídrica y el crecimiento rural y urbano desordenado. Cada una de estas causas tiene sus propias subcausas que las ocasionan. Así mismo, dichas problemáticas tienen como consecuencia malos olores, riesgos sanitarios, fragmentación de servicios ecosistémicos, reducción de la oferta hídrica, inundaciones, pérdida de valor paisajístico, altos costos de intervención, destrucción de acuíferos, entre otros.

En cuanto a las soluciones propuestas a las problemáticas de la cuenca media del Río Bogotá en la información analizada durante el periodo 2011 – 2021, se han concentrado también en el área del cambio climático (61%) y en menor medida en la gestión del riesgo (21%) y ordenamiento territorial (18%) (ver figura 17). Estas tendencias de las soluciones son correspondientes con las problemáticas identificadas en la figura 5, en donde la mayoría también se concentra en el cambio climático. A continuación, se detallan algunas de las soluciones propuestas más relevantes.



Leyendas

- Problema central
- Causas directas
- Causas indirectas
- Consecuencias

Figura 16. Árbol de problemas ambientales de la cuenca media del Río Bogotá, identificados en la información publicada en el periodo 2011 – 2021.

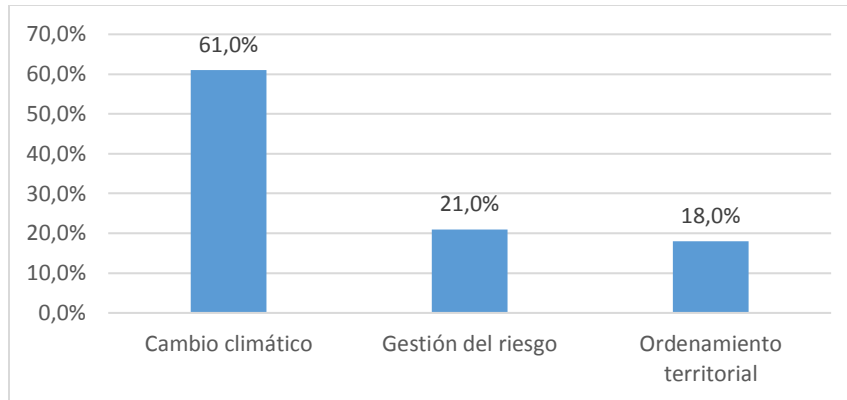


Figura 17. Distribución de las principales soluciones propuestas para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

6.2.4. Soluciones propuestas frente al cambio climático

Las soluciones propuestas para el cambio climático, la información producida durante el periodo 2011 – 2021, referente a la cuenca media del Río Bogotá, se encuentran distribuidas en las siguientes temáticas: mantener y mejorar la calidad el agua (26.2%), promover la conciencia y participación en el público y mejorar la gobernabilidad (23%), mantener o restaurar ecosistemas, bosques y cobertura vegetal (21.3%), sostener procesos hidrológicos fundamentales y acomodar los alterados (21.3%) y diseñar y modificar la infraestructura para adaptarse a las condiciones futuras (8.2%) (ver figura 18).

La contaminación de los ríos de la cuenca media es un problema de fondo que tiene un largo camino por recorrer (Torres & Moreno, 2019). Al respecto, Gómez (2017) recomienda definir alcances ejecutables y medibles, para evitar incumplimientos en relación Sentencia del Consejo de Estado de 2014 y los principios básicos basados en componentes técnicos, financieros, de gestión y de educación. En este sentido, las soluciones a la contaminación ya se han previsto en el pasado, pero deben asegurarse las condiciones sociales, económicas, ambientales y las voluntades para que estas se lleven a cabo.

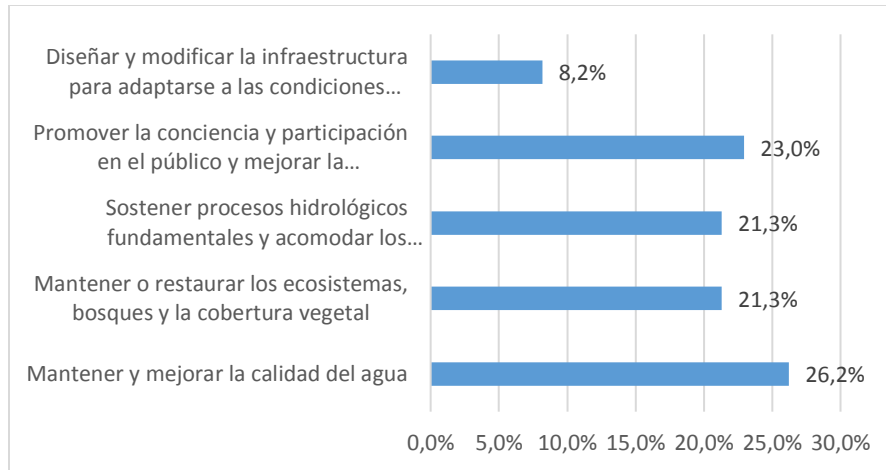


Figura 18. Distribución de las soluciones propuestas respecto al cambio climático para la cuenca media del Rio Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

En referencia a los vertimientos domésticos y acumulación residuos sólidos, se ha propuesto la separación en la fuente, reciclaje y compostaje para reducir el volumen de residuos desechados en la cuenca (Bermúdez, 2021; Villegas, 2014), además del tratamiento de las aguas residuales que se vierten al río, lo que requiere garantizar inversión en las PTAR (Contraloría de Bogotá, 2020; Peña et al., 2016; Y. Silva, 2020). Estos procesos requieren del compromiso estatal, pero depende en gran medida de la participación de la comunidad para llevar a cabo reciclaje y reducción de los vertimientos.

Desde el punto de vista administrativo, se ha recomendado la apropiada implementación de instrumentos de planeación y administración, que se puede ver reflejado en la reducción de los niveles contaminantes (Álvarez & Murillo, 2019). Ha sido importante también como solución el contar con planes de control del uso de pesticidas en la agricultura, incrementar la cobertura de los planes de saneamiento básico, control de las explotaciones mineras y optimizar las PTAR (Cortes & Castro, 2011). Por otro lado, se ha propuesto como solución el seguimiento y control a los actores contaminantes e identificación de los vertidos que no corresponden a aguas lluvias y tomar las medidas correctivas necesarias (Jaramillo & Cabrera, 2014; Silva, 2020); seguimiento y control a las tasas de infiltración sobre el sistema de alcantarillado (Peña et al., 2016) y ejecutar obras de mitigación y control para la descontaminación de los ríos (Bernal & García, 2011). Desde los gobiernos locales se requiere un mayor compromiso con la vigilancia,



seguimiento y control de actores contaminantes de acuerdo a la normatividad e instrumentos de planeación establecidos, considerando una modificación de los mismos para llegar a zonas en donde no existe cobertura.

También se ha venido recomendando la implementación de análisis geo estadístico de predicción espacial del índice de calidad del agua, para determinar las zonas exactas del río donde los planes de limpieza pueden resultar más efectivos y donde la vigilancia se puede incrementar para evitar más acciones contaminantes (Mesa et al., 2017). El control, adecuada planificación y sistemas de información son acciones de conocimiento y reducción dentro del proceso de gestión del riesgo que permiten solucionar gran parte de la problemática de la contaminación, al atacar las causas de la misma.

Respecto a lo anterior, se ha propuesto la recuperación de las quebradas que conforman el complejo hídrico (Silva, 2020), particularmente la implementación de tecnologías que permitan recuperar el cuerpo de agua y los metales pesados (Pinzón & Ramírez, 2018) y la revisión de métodos de remoción de yodo, como la osmosis inversa para gases, carbón activado, entre otros (Ospina, 2018). También se han recomendado implementar medidas que permitan regular las tasas de vertimientos mediante la implementación de instrumentos legislativos, tecnológicos y económicos (Ivanova et al., 2018). Estas son acciones que hacen parte del proceso de manejo de la cuenca, por lo tanto, son medidas complementarias a las de conocimiento y reducción, que permiten la recuperación de la calidad del agua y el manejo de los contaminantes que no fueron tratados en su fuente.

El siguiente grupo de soluciones importantes a los problemas ambientales de la cuenca media del río Bogotá, ha sido la promoción de la conciencia y participación de las comunidades y mejorar la gobernabilidad. Por un lado, se han implementado y propuesto acciones de sensibilización, concientización con el fin de reducir los impactos del recurso hídrico (Contraloría de Bogotá, 2020; Silva, 2020). Paralelamente, se han propuesto programas de educación hídrica y educación ambiental para el buen uso del recurso hídrico, conservación de coberturas vegetales y apropiación del territorio (Cárdenas et al., 2017; Cortes & Castro, 2011; Rincón & Mosquera, 2019), por ejemplo,



mediante piezas educativas para fortalecer conocimientos en plantaciones, recorridos y talleres de agricultura urbana (Cortés & Pérez, 2020). También se han recomendado campañas educativas con los agricultores, con el fin de reducir la contaminación por microorganismos patógenos, acompañado de normativas para el uso del agua y el control y seguimiento de las mismas (Corrales et al., 2018). La

Estas sensibilizaciones deben involucrar a la ciudadanía en programas ambientales para que se apropien de su entorno y adquieran la cultura de conservación de los recursos naturales (Álvarez & Murillo, 2019). Precisamente esta vinculación de las comunidades aledañas a los canales pluviales de la cuenca garantiza las acciones de rehabilitación, cambio de imaginarios sobre los cuerpos de agua, disminución de fuentes de contaminación y la apropiación de estos como elementos naturales de la ciudad (Orozco, 2016). Lo anterior tiene como trasfondo lograr cambios sustanciales en paradigmas de consumo, apropiación de los recursos naturales y adaptación al entorno (Herrera et al., 2020). La educación ambiental, sensibilización y promoción de la conciencia ambiental desencadena procesos de protección ambiental desde los mismos actores que antes eran fuente de contaminación, mejora la gobernabilidad participativa del agua y sienta las bases para la recuperación de la cuenca media del Río Bogotá.

La participación comunitaria también ha sido un componente relevante en las soluciones ejecutadas. Se destaca el trabajo de la sociedad civil y las veedurías ciudadanas para promover la formulación de políticas públicas, la comprensión de las problemáticas sociales, la adopción de medidas de protección del medio ambiente y llevar a cabo un seguimiento y acompañamiento de las gestiones para la recuperación y conservación del río Bogotá (Álvarez & Murillo, 2019; Arias, 2018; Güiza et al., 2015; Ortegón & Rubio, 2020; Santafe, 2012). Incluso, de una acción popular radicada por personas afectadas por el detrimento de la calidad ambiental de la cuenca, surgió el fallo del consejo de Estado que establece la obligación de recuperar el río Bogotá (Bejarano, 2015). Por lo tanto, se propone buscar herramientas de participación ciudadana con el fin de optimizar, implementar, controlar y evaluar proyectos de manejo ambiental de la cuenca hidrográfica (Cortés & Castro, 2011). La participación comunitaria favorece el conocimiento de las causas de los problemas de la cuenca, la planeación de soluciones,

un adecuado ordenamiento del territorio, la implementación de proyectos ambientales de recuperación, la vigilancia de las acciones públicas y el control de actores que pueden producir deterioro ambiental.

Se ha promovido el cumplimiento estricto de la normativa y aplicación de controles para cuidar el medio ambiente (Cárdenas et al., 2017). Las autoridades ambientales deben tener la capacidad de controlar las actividades contaminantes que se llevan a cabo en la zona de influencia del río (Bejarano, 2015). Algunas propuestas se enmarcan en el orden legislativo, como dejar extinguir los títulos mineros actuales (Barrera, 2015). De forma paralela se ha propuesto descentralizar la gobernabilidad del recurso y motivar la articulación sectorial para generar acuerdos (Cárdenas et al., 2017).

Por otro lado, se han propuesto diversas acciones dentro del ámbito de sostener procesos hidrológicos fundamentales y acomodar los procesos que están alterados. Para ello, se han establecido acciones que permitan actualizar la información regional georreferenciada del agua frente al consumo humano y de los sectores productivos, de forma que se puedan llevar a cabo acciones de monitoreo y seguimiento para identificar el cumplimiento de objetivos metas de calidad y uso definidas para el río Bogotá (Arias, 2018; Camelo, 2018; Contraloría de Bogotá, 2020; EPAM SA, 2014). Dichos sistemas informativos deben controlarse de tal forma que sean precisos y consistentes (Cortes & Castro, 2011). La tecnología juega un papel fundamental para el seguimiento del uso y calidad del agua de una manera precisa, lo cual permite una mayor efectividad en las acciones de reducción y recuperación de la cuenca.

Se ha visto la factibilidad de establecer un estudio de disponibilidad a pagar como una forma de revertir el proceso de deterioro de las condiciones ambientales del río Tunjuelo, hallando que el 93% de la población estaría dispuesta a pagar con el fin de proteger zonas estratégicas importantes para conservar el recurso hídrico (Charry & Delgado, 2014). El sistema de pagos ambientales es una alternativa para conservar ecosistemas frágiles y asegurar la regulación hídrica (Bejarano, 2015), así como la imposición de multas económicas y trabajo social a los infractores ambientales (Ortegon & Rubio, 2020). Este tipo de diseños pueden implementarse en toda la cuenca media. Además, se ha hecho énfasis en reducir el consumo de agua mediante la utilización del

agua lluvia y reducir el consumo per cápita (Peña et al., 2016). El pago por servicios ambientales, multas y el uso de agua lluvia son estrategias que permiten racionalizar el consumo y la eficiencia en el uso y aprovechamiento de del agua de la cuenca, lo cual repercute en la recuperación de la oferta hídrica.

Es necesario que se implementen técnicas y sistemas productivos innovadores en los sectores que más generan huella hídrica de la ciudad y que permitan preservar corredores ecológicos funcionales, la regulación del flujo de aguas y la fijación de carbono (Castilla et al., 2018; Montoya & Rivera, 2021). En cuanto a los canales pluviales se ha recomendado coordinar programas ambientales integrales de forma coordinada con espacio público y gestión del riesgo, tener en cuenta los nuevos sistemas de gestión de aguas urbanas y fomentar la apropiación ciudadana de estas infraestructuras hídricas (Orozco, 2016). Se requiere una actuación integrada, consciente e interdisciplinar sobre los cuerpos hídricos, de manera que las soluciones no solo sean técnicas (Gómez, 2017). Esto último implica la complementariedad de la intervención estructural de los cuerpos hídricos y sistemas ecológicos de producción, reforestación y conexiones entre espacios de alto valor ambiental.

Entre otras cosas, se ha argumentado que se debe dar cumplimiento a los planes de manejo ambiental e incorporar nuevas zonas de importancia ecológica dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial, de tal forma que se incrementen las zonas de protección (Álvarez & Murillo, 2019). Se deben fortalecer los instrumentos legales y de ordenamiento que permitan dar un adecuado manejo a las áreas de importancia ecológica en la cuenca media del Río Bogotá, lo que permite aislar y controlar inadecuados usos del suelo y presencia de fuentes contaminantes.

Por otro lado, existe un grupo de estrategias propuestas alrededor de la restauración de ecosistemas, bosques y cobertura vegetal, como por ejemplo, la instalación de islas que funcionen como reservorios de biodiversidad, plantación y mantenimiento de individuos arbóreos (Bohórquez, 2018; Contraloría de Bogotá, 2020). La vegetación contribuye al ciclo ambiental del agua, puesto que puede hacer que el agua vaya a otros lugares o se retenga en otros; es decir, permite recuperar dos grande servicios ecosistémicos: la conectividad ecológica y la regulación del ciclo hidrológico

(Díaz, 2013; Silva, 2016). La estructura ecológica principal tiene como función la regulación de temperaturas y precipitaciones y las áreas protegidas son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo sostenible; ante estos, se proponen las Estrategias Complementarias de Conservación, para definir las áreas en las que se puede fortalecer las capacidades de adaptación de la población y crear proyectos de educación ambiental local (Montoya & Rivera, 2021). Estas medidas propenden por la recuperación integral de la cuenca, es decir, garantizar flujos sostenibles de servicios de la cuenca a la sociedad, mediante la restauración de la base de recursos naturales y la producción sostenible alrededor de la misma.

Como parte de este propósito de recuperación vegetal, se ha propuesto que los municipios deben crear herramientas para la evaluación y seguimiento de la calidad de los recursos bióticos y abióticos, con el fin de mitigar los impactos generados en estos (Cortes & Castro, 2011). Lo anterior puede complementarse con la participación de la comunidad en la recuperación y mantenimiento de la cobertura vegetal (Rincón & Mosquera, 2019). También pueden considerarse los observatorios ambientales, plantación de huertas y una pedagogía de conservación del medio ambiente; de tal forma que se logre revegetalizar las zonas afectadas y recuperar el valor estético de la cuenca (Bermúdez, 2021; Bernal & García, 2011). La recuperación ambiental de la cuenca media requiere del compromiso de los entes territoriales, órganos de vigilancia, centros de formación ambiental y la participación comunitaria.

Finalmente, se han planteado estrategias de diseño y modificación de estructuras para adaptarse a las condiciones futuras. Al respecto, Silva (2016) propuso construir socioecosistemas donde lo artificial y lo natural coexistan y biotopos artificiales los cuales facilitan las dinámicas ambientales dentro de un equilibrio ecológico. Paralelamente, desde el área de arquitectura, se han diseñado espacios urbanos que permiten que las personas puedan interactuar de una manera sostenible con la cuenca con fines de turismo, recreación y educación; además del restablecimiento de los hábitats naturales de los cuerpos de agua mediante consolidación de parques (Bernal & García, 2011; Martínez, 2020).

Pese a que aún se plantean construcción de obras y ampliación de infraestructura hidráulica para descontaminar el río (Secretaría Distrital de Planeación, 2014), la literatura muestra estrategias que hacen parte de nuevos enfoques que transforman el desarrollo de infraestructura “dura” en diversos programas para restaurar y renaturalizar canales y aprovechar las zonas de manejo como espacio público (Orozco, 2016).

6.2.5. Soluciones propuestas frente a la gestión del riesgo

En la gestión del riesgo las propuestas de solución se han caracterizado en estructurales y no estructurales. Las primeras abarcan aquellas medidas de construcción de infraestructura, obra gris, para intervenir el sistema de drenaje y las segundas buscan mejorar la convivencia de la población con el crecimiento de los ríos. Las estrategias estructurales abarcan el 38.1% de las medidas propuestas en este componente, mientras que las medidas no estructurales abarcan el restante 61.9% (ver figura 19). Estas medidas no estructurales implican mejoras en el sistema de gestión e información (33.3%), relacionadas con la naturaleza (19%) y en el ámbito social (9.5%).

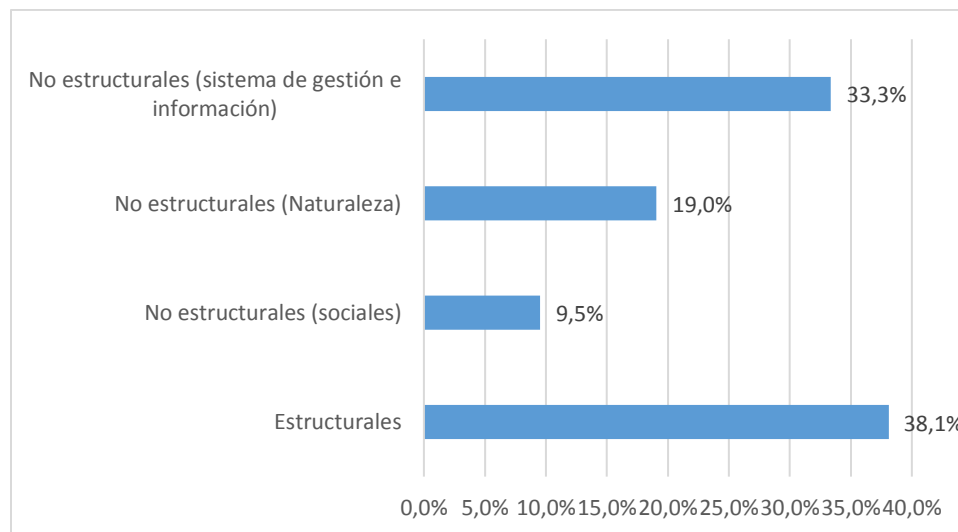


Figura 19. Distribución de las soluciones propuestas respecto a la gestión del riesgo para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

Las acciones estructurales se han centrado en la realización de obras de ingeniería civil para intervenir los cauces, controlar inundaciones, áreas multifuncionales



e integración al río Bogotá (Bohórquez, 2018; Torres & Moreno, 2019). Otras obras que se han realizado o se proponen son: mejoras hidráulicas en jarillones, adecuaciones preventivas en dragas y válvulas (Bejarano, 2015), diseños más conservativos, con mayores factores de seguridad, para adaptarse a los ambientes cambiantes (Díaz & Camacho, 2012), creación de escenarios de alivio de las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua (Díaz, 2013), rehabilitación del parque metropolitano y la recuperación lineal de la ronda el río Bogotá, además de conformar sistemas de espacio pública articulados con la Estructura Ecológica Principal (Urbano, 2014), ampliación de cauces, ampliación de los límites de los jarillones y construcción de nuevos embalses (Joya, 2015).

Estas obras de ingeniería civil han sido ejecutadas principalmente como respuestas reactivas a los desastres o contaminación de la cuenca, ya sea para recuperar y reconstruir el cauce, como para re direccionar u “ocultar” el flujo de agua con el fin de proteger la salud humana. Centrar las acciones solo en este tipo de soluciones, conduce a ciclos de desastre – reconstrucción – desastre en los que no se atacan las dinámicas de vulnerabilidad social y ambiental que generan el riesgo.

En los aspectos estructurales y que hacen parte de las estrategias referentes al sistema de gestión, se ha propuesto mejorar la información existente de la cuenca, aumentar los esfuerzos de medición, análisis y modelación para estimar el comportamiento futuro del cuerpo de agua y formular adecuadamente proyectos de gestión del riesgo (Díaz & Camacho, 2012; EPAM SA, 2014; Moreno, 2018). Lo anterior también implica la mejora de las redes de monitoreo y el ajuste de indicadores de regulación, retención y vulnerabilidad hídrica, para disponer de alarmas tempranas que puedan prevenir riesgos y desastres (EPAM SA, 2014; González & Quintero, 2015).

En cuanto al sistema de gestión, se ha destacado los cambios normativos y conceptuales respecto a la reestructuración en la atención de emergencias a la prevención y gestión de riesgos, además de la importancia de seguir la Política Nacional de Gestión de Riesgo articulado con las herramientas de planificación del territorio (Piza, 2017). También es importante la delimitación de áreas de conservación y protección de

recursos naturales, franja inundable y áreas de amenazas y riesgos dentro de los planes de ordenamiento territorial (Herrán, 2017).

En los aspectos no estructurales relacionados con los procesos ecológicos naturales, se ha propuesto el mejoramiento de la cobertura vegetal, creación de jardines inundables para amortiguar las crecientes del río y recuperación y ampliación de espacios que originalmente le pertenecían al río (Martínez, 2020; Moreno, 2018; Torres & Moreno, 2019). En otro estudio, se ha propuesto que un incremento en el presupuesto puede convertir una canalización del agua pluvial en un área recreativa de paisaje, lo que impide el asentamiento de vivienda; así mismo, se propone la recuperación de humedales como zona de amortiguamiento de inundaciones (Costa et al., 2018). También es importante resaltar que se ha hecho énfasis en fortalecer la investigación e implementar el uso de Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible (SUDS), que favorezcan la reducción del impacto ambiental que se da por la descarga de agua lluvia contaminada (Peña et al., 2016).

Finalmente, en los aspectos no estructurales en el ámbito social se ha propuesto la participación de diferentes actores sociales en las decisiones de gestión del riesgo y evitar que sus dinámicas se conviertan en amenazas para las comunidades (Álvarez & Murillo, 2019). Es necesaria la cooperación y la concientización social para obtener respaldo popular en las inversiones que deben realizarse para gestionar el riesgo en la cuenca (Costa et al., 2018).

Anticipar y fortalecer las capacidades de adaptación de la población y del medio ambiente mejora la gestión del riesgo desde sus causas, mejorando la toma de decisiones para beneficiar la comunidad, disminuir los impactos por desastres y una mayor resiliencia y adaptación ante los cambios climáticos. La literatura y soluciones recientes para el desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas ha resaltado la necesidad de incluir dimensiones socio ambientales y de participación para un tratamiento más efectivo de los riesgos.

6.2.6. Soluciones propuestas frente al ordenamiento territorial

En referencia a las soluciones propuestas en el ámbito del ordenamiento territorial, el 50% de la literatura ha hecho énfasis en la necesidad de mejorar la visión y la articulación de la planeación (ver figura 20); en menor medida han propuesto alternativas para mejorar el uso del suelo (33.3%) y han propuesto el desarrollo de infraestructura en relación con la distribución del territorio (16.7%).

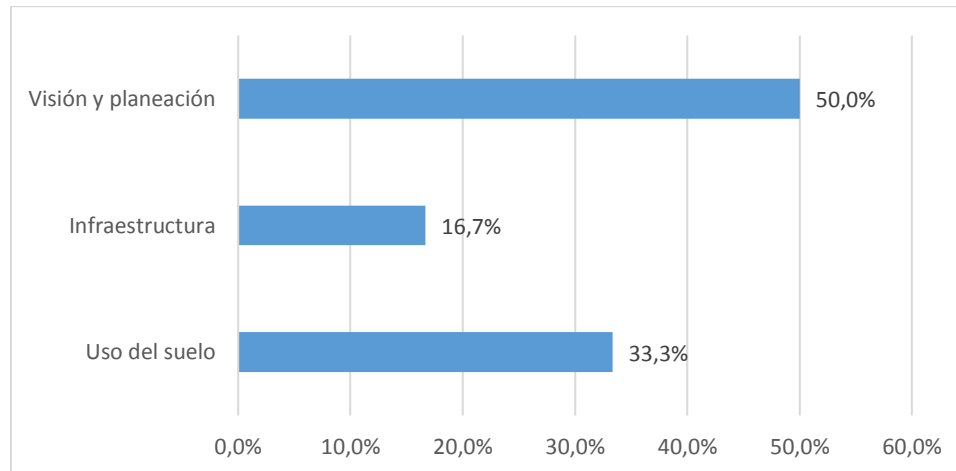


Figura 20. Distribución de las soluciones propuestas respecto al ordenamiento territorial para la cuenca media del Río Bogotá, periodo 2011 - 2021. Elaboración propia.

A nivel de la planeación territorial, se ha propuesto que la cuenca sea una Unidad de Gestión territorial, de tal forma que permita la congregación de actores públicos y privados para el desarrollo del territorio; propuesta que viene acompañada de la creación de comités y consejos de cuencas (Villegas, 2014). Por otro lado, las nuevas visiones involucran la transformación de la cultura ambiental ciudad – cuenca, integrar instrumentos de planificación territorial y redensificación verde e interconexión vial ecológica (Olarte, 2017). El ordenamiento territorial debe sustentarse en una estructura ecológica que contribuya a equilibrar las condiciones ecológicas y ambientales de ocupación de la ciudad (Díaz, 2013). La sentencia del Consejo de Estado es una oportunidad para replantear estas visiones de la ocupación del suelo regional, teniendo en cuenta la obligatoriedad de la actualización de los instrumentos de planificación territorial (Secretaría Distrital de Planeación, 2014). El ordenamiento territorial debe girar



alrededor de la protección de la cuenca con el fin de equilibrar la ocupación urbana y rural con el desarrollo de condiciones ecológicas y desarrollo sostenible de la cuenca media del Río Bogotá.

Las políticas de desarrollo urbano deben considerar: las interacciones entre los diferentes actores y los componentes del ciclo urbano del agua, recuperar las áreas de especial importancia estratégica y actualizar los instrumentos de planeación (Güiza et al., 2015; Peña et al., 2016); mejorar los procesos de control y vigilancia de desarrollos urbanísticos y de expansión del territorio (Silva, 2020); articular las acciones de las entidades del distrito con cada uno de los municipios que componen la cuenca del río Bogotá (Gómez, 2017); y el involucramiento de los sistemas de información geográfica (SIG) favorece el cumplimiento de los objetivos de ordenamiento territorial de una forma más fácil y rápida (Arias, 2018). De esta manera, el ordenamiento territorial no solo requiere de una adecuada planeación que involucre a la cuenca media como eje central, sino que necesita rigurosos procesos de control de la expansión urbanística y precisos sistemas de información geográfica.

Respecto al uso del suelo, la literatura recomienda la recuperación de la ronda del Río Bogotá, la implementación de modelos de recuperación de servicios eco sistémicos que permitan mejorar la utilización del suelo y establecer los usos del suelo según sus características edafológicas y sectores económicos (Bohórquez, 2018; Cortes & Castro, 2011; Díaz, 2013). Estas estrategias, sumado a la reubicación de edificaciones que atentan contra el ecosistema del río, permitirían recuperar las áreas naturales de importancia estratégica y zonas de ronda hidráulica (Güiza et al., 2015; Martínez, 2020). Adicional a esto, una educación a los actores involucrados en la cuenca puede prevenir el abuso de las zonas de amortiguación de los ríos (Bejarano, 2015).

En concordancia con estas visiones de ordenamiento y uso del suelo, se han propuesto diferentes infraestructuras “duras”, así como ambientalmente sostenibles: áreas verdes adecuadas y construcciones sostenibles (Bohórquez, 2018), infraestructuras viales, senderos, corredores verdes (Martínez, 2020), ciclorutas, parques urbanos y macroproyectos de conexión entre lo urbano y la cuenca (Gómez, 2017).

Recuperar y mejorar el uso del suelo alrededor de la cuenca hidrográfica demanda la concientización de los actores involucrados, la reubicación de estructuras inadecuadas para la ronda del río y la implementación de infraestructuras verdes que permitan conectar la cuenca con lo urbano.

6.3. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para la cuenca media del Río Bogotá.

El diseño de las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en la cuenca media del Río Bogotá es la conjugación y contraste de cuatro aspectos: 1) los lineamientos nacionales de adaptación al cambio climático; 2) las soluciones propuestas en la información publicada en los últimos 10 años alrededor de esta parte de la cuenca; 3) el árbol de objetivos que emerge de los problemas detectados en esta información y 4) las tendencias de gestión saludable y desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas a nivel internacional (Canadá, Reino Unido, Japón y Corea), propuestas por Liu et. Al (2020).

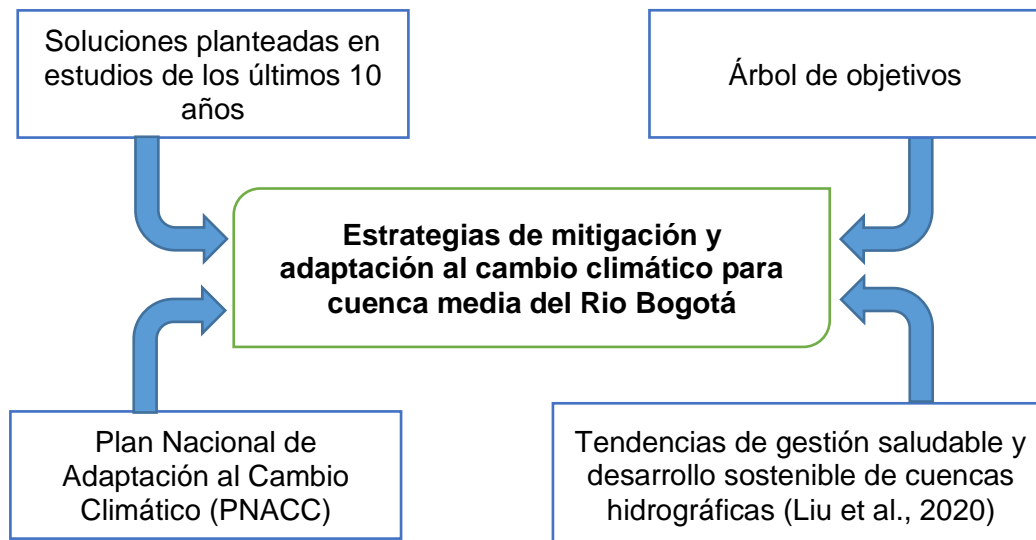


Figura 21. Fuentes de información para la definición de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para la cuenca media del Río Bogotá. Elaboración propia.

En primer lugar, del árbol de problemas establecido en la sección anterior, se transforma en objetivos que permiten definir rutas de acción para mejorar el manejo ambiental de la cuenca media del Río Bogotá (ver figura 22). El objetivo principal es Adaptar y mitigar el cambio climático en la cuenca media del Río Bogotá para su desarrollo sostenible, el cual se logra con tres objetivos específicos: 1) Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y contaminación; 2) Mejorar las capacidades de retención y regulación hídrica y 3) Ordenar el crecimiento rural y urbano.



Figura 22. Árbol de problemas ambientales de la cuenca media del Río Bogotá, identificados en la información publicada en el periodo 2011 – 2021. Elaboración propia.

Cada uno de estos tres objetivos tiene sus propios medios o estrategias para lograrse, que en la figura 20 corresponde a los recuadros inferiores, los cuales, al cumplirse o ejecutarse permitirán el logro de dichos objetivos y los propósitos finales.

De acuerdo con este árbol de objetivos y las fuentes de información enunciadas en la figura 19, se construyó la tabla 7 en donde se relacionan las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, su correspondencia con el PNACC y las tendencias internacionales de desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas, con los sectores responsables, involucrados y plazos. A continuación, se describen estas estrategias según los objetivos definidos.

Objetivo 1. Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y contaminación.

Este objetivo busca hacer frente a los principales problemas de calidad y cantidad de agua en la cuenca media, lo cual requiere de las siguientes estrategias:

Estrategia 1.1. Mejorar la calidad del agua por vertimientos contaminantes

Esta estrategia implica diversas acciones de control de vertimientos, descontaminación del agua, cambios en las prácticas agrícolas, extractivas y productivas, reducción de la erosión del suelo, establecimiento de sistemas de información y seguimiento. Esto requiere compromisos de todos los actores sociales y políticos para cumplir los compromisos de mejorar la calidad del agua y son acciones que se deben implementar en el corto plazo.

Estrategia 1.2. Lograr compromiso social y gobernabilidad

Se requieren procesos educativos, de formación y sensibilización en las comunidades sobre el cambio climático para reducir los desechos sólidos, uso de pesticidas y lograr el uso racional del agua. La comunidad debe apropiarse de las cuencas de los ríos como espacios para la vida y actuar como veedores ante conductas que generen contaminación y afecten los servicios ecosistémicos de la cuenca.

Tabla 7. Estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá.

Objetivos	Estrategias	Correspondencia con		Implementación		
		Estrategias del (PNACC)	Tendencias internacionales Liu et al. (2020)	Sectores responsables	Involucrados	Plazo
Reducir la vulnerabilidad al cambio climático y contaminación	Mejorar la calidad del agua por vertimientos contaminantes	Fortalecimiento de la gestión del conocimiento climático, hidrológico y oceanográfico, y sobre los impactos potenciales de sus variaciones en el contexto de cambio climático	Limpiar el medio acuático	Agropecuario Minero Industrial Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, Colciencias, Empresas de servicios Públicos domiciliarios	Corto
	Lograr compromiso social y gobernabilidad	Educación, formación, comunicación y sensibilización de públicos sobre el cambio climático. Producción agropecuaria y seguridad alimentaria adaptadas al cambio climático	Promover la conciencia y participación en el público	Agropecuario Minero Industrial Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	Universidades, Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, , población en general.	Mediano
	Ajustar los bosques, ecosistemas y cobertura vegetal	Gestión de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos	Mantener los procesos ecológicos saludables en los hábitats	Agropecuario Minero	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos,	Largo
	Acomodar Procesos hidrológicos alterados	Gestión de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos	Mantener los procesos ecológicos saludables en los hábitats	Agropecuario Minero	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos,	Largo
	Adecuar las condiciones de infraestructura	Reducción prospectiva de riesgos en infraestructuras básicas	Implementar manejo integral de cuencas hidrográficas	Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	Municipios y distritos, Empresas de servicios Públicos domiciliarios.	Mediano
Mejorar las capacidades de retención y	Disminuir la Invasión de la ronda de los ríos	Educación, formación, comunicación y sensibilización	Consolidar la precaución de	Vivienda, desarrollo	Corporaciones autónomas regionales,	Largo

regulación hídrica		de públicos sobre el cambio climático. Incorporación de la variabilidad y cambio climático en los instrumentos de planificación del Estado	preparación para desastres	territorial y agua potable	Municipios y distritos, población en general	
	Fortalecer los sistemas de gestión del riesgo	Fortalecimiento de capacidades institucionales para la adaptación al cambio climático Fortalecimiento de la gestión del conocimiento climático, hidrológico y oceanográfico, y sobre los impactos potenciales de sus variaciones en el contexto de cambio climático	Consolidar la precaución de preparación para desastres	Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	IDEAM, Universidades, Organismos de gestión del riesgo, Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, población en general.	Corto
	Reforestar los bosques	Gestión de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos	Mantener los procesos ecológicos saludables en los hábitats	Agropecuario Minero	Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, población en general.	Largo
	Diseñar y modificar la infraestructura de alcantarillado, contención y dragado	Reducción prospectiva de riesgos en infraestructuras básicas	Implementar manejo integral de cuencas hidrográficas	Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	Municipios y distritos, Empresas de servicios Públicos domiciliarios.	Mediano
Ordenar el crecimiento rural y urbano	Regular la ocupación de las rondas hídricas y humedales	Incorporación de la variabilidad y cambio climático en los instrumentos de planificación del Estado	Implementar manejo integral de cuencas hidrográficas	Vivienda, desarrollo territorial y agua potable	Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, población en general.	Corto
	Articular los esfuerzos de planeación y realizar control del crecimiento urbano	Crecimiento verde de hábitats humanos			Corporaciones autónomas regionales, Municipios y distritos, población en general.	Mediano

* El corto plazo corresponde a 1 año; mediano plazo de 1 a 5 años y largo plazo más de 5 años.

Fuente: Elaboración propia

Estas son acciones que involucran a actores de formación e instituciones públicas que deben iniciar acciones en el corto plazo, pero que sus resultados se verán en el mediano y largo plazo.

Estrategia 1.3. Ajustar los bosques, ecosistemas y cobertura vegetal.

Los ecosistemas forestales y animales facilitan la conservación de agua lluvia, controla la erosión y los sedimentos, además de proporcionar cobertura natural a tierras degradadas. Las acciones en esta estrategia abarcan el establecimiento de barreras naturales, agricultura natural, restauración de especies nativas adaptables a situaciones futuras, fomentar nuevas mezclas de especies nativas, desfavorecer especies mal adaptadas e introducir y/o trasladar especies que se adapten a condiciones futuras. Las acciones de esta estrategia son de largo plazo e implican acciones a nivel municipal o distrital y de entidades ambientales regionales y nacionales.

Estrategia 1.4. Acomodar Procesos hidrológicos alterados

Corresponde a la mejora de la capacidad de la cuenca hidrográfica para mantener sus procesos de transferencia de masas de agua (líquido, gaseoso y sólido) cuando estos se han alterado. Para ello se debe mejorar la capacidad de almacenamiento e infiltración de los suelos forestales y restaurar la conectividad hidrológica, el canal de flujo, la llanura aluvial, áreas de tierras bajas y humedales boscosos. Estas son acciones que también requieren tiempo en consolidarse y lograrse, por lo tanto, son de largo plazo e involucra diversos actores ambientales, institucionales y de la sociedad.

Estrategia 1.5. Adecuar las condiciones de infraestructura.

La infraestructura gris puede representar riesgos en la modificación de los procesos hidrológicos de la cuenca media, pero también los puede mejorar, especialmente cuando esta se acompaña por infraestructura verde. Las acciones dentro de esta estrategia implican el refuerzo a la infraestructura permanente y temporal, la

incorporación del desarrollo natural y de bajo impacto en los diseños arquitectónicos. Estas son iniciativas que se van incorporando en las construcciones en el mediano plazo y están bajo la dirección de municipios y distritos y empresas de servicios públicos.

Objetivo 2. Mejorar las capacidades de retención y regulación hídrica

Este objetivo busca disminuir el riesgo de desastres mediante la mejora de las capacidades de la cuenca para regular el cuerpo hídrico, así como las capacidades de las comunidades para vigilar y hacer frente a los riesgos. Esto es posible mediante las siguientes estrategias:

Estrategia 2.1. Disminuir la Invasión de la ronda de los ríos

Esta estrategia requiere de acciones complementarias de educación y formación de las comunidades, junto con la incorporación de la variabilidad y el cambio climático en los instrumentos de planificación del estado. También implica el establecimiento de políticas de zonificación adecuadas y hacer cumplir los códigos de construcción. Estos son procesos que pueden gestarse en el mediano plazo, pero sus resultados se logran ver en el largo plazo.

Estrategia 2.2. Fortalecer los sistemas de gestión del riesgo

Abarca las medidas no estructurales en las que se busca mejorar la convivencia de la población con el crecimiento de los ríos. En este sentido se deben recuperar realizar procesos de capacitación social respecto a factores de riesgo, la mejora de los sistemas de medición del caudal del río y la mejora de los sistemas de pronóstico, alerta temprana y gobernanza local del agua. Estas acciones involucran las municipalidades y distritos, organismos de gestión del riesgo y comunidades e implica un periodo de tiempo de corto plazo (1 año) para ejecutarse.



Estrategia 2.3. Reforestar los bosques

Los procesos ecosistémicos son importantes para la regulación hídrica, por lo tanto, las acciones deben enfocarse en restaurar la cubierta forestal y vegetal, mejorar capacidades de los bosques ante plagas y patógenos, controlar el establecimiento de especies invasoras, mejorar la densidad estructural de los bosques, construir corredores y hábitats ecológicos y simular el entorno natural hacia el enfoque ecológico. Estas son acciones de largo plazo que implican los actores ambientales y las entidades distritales y municipales.

Estrategia 2.4. Diseñar y modificar la infraestructura de alcantarillado, contención y dragado

Implica la realización de actividades estructurales (obras de ingeniería) en los sistemas de drenaje y eco hidrología para minimizar los daños que generan las inundaciones. Consiste en las diferentes obras de ingeniería para el control y regulación del agua y la protección de zonas inundables, mejorar la capacidad de los sistemas para hacer frente al aumento de los niveles de agua o para responder o prepararse para la escorrentía superficial. Estas son acciones de mediano plazo en las que están involucrados principalmente los municipios, distritos y empresas de servicios públicos domiciliarios.

Objetivo 3. Ordenar el crecimiento rural y urbano

El objetivo pretende que existan ciudades resilientes y ordenadas, donde la cuenca media sea respetada y un epicentro de desarrollo sostenible de lo urbano y rural. Las estrategias para su logro son:

Estrategia 3.1. Regular la ocupación de las rondas hídricas y humedales

Existen planes de ordenamiento territorial definidos en donde se declara la protección de las cuencas hídricas y humedales; por lo tanto, se requieren acciones que

regulen y controlen el cumplimiento de las mismas por parte de los actores infractores. Estas son acciones de corto plazo por parte de las CAR, municipios y distritos.

Estrategia 3.2. Articular los esfuerzos de planeación y realizar control del crecimiento urbano.

Consiste en diversas iniciativas que buscan fortalecer la planeación territorial mediante la creación de comités y consejos de cuencas, considerar la estructura ecológica que equilibre las condiciones ambientales y de ciudad y la incorporación de diferentes infraestructuras sostenibles: senderos, corredores verdes, parques urbanos y macroproyectos que permitan aprovechar el paisajismo de la cuenca, a la vez que protege la biodiversidad y los ecosistemas. Estas son acciones de mediano plazo encabezadas por los municipios, distritos y corporaciones autónomas regionales.

7. DISCUSIÓN

La cuenca media del río Bogotá con el paso de los años se ha convertido en un lugar deteriorado ambientalmente, producto de la ocupación indebida, consumo intensivo y desecho de vertimientos. El resultado ha sido la dependencia de otros afluentes para el consumo, baja calidad y disponibilidad de agua y peligros para la salud humana. Esto demanda acciones integrales con el fin de lograr la ordenación saludable y desarrollo sostenible de la cuenca.

En esta investigación se ha analizado las problemáticas, soluciones y evidencia de la literatura para proponer estrategias para mitigar y adaptar al cambio climático la cuenca media del Río Bogotá. Para una problemática tan grande e histórica, existe un amplio abanico de posibilidades estratégicas para afrontar los problemas de calidad y cantidad de agua, riesgo de desastres y ordenamiento territorial. Este estudio priorizó aquellas estrategias que atienden los problemas más frecuentes de los últimos 10 años, y cada una abarca diversas acciones que, aunque su profundización excede los objetivos propuestos, sirve como marco estratégico para el planteamiento de diversas actividades futuras que logren un desarrollo sostenible de la cuenca media del Río Bogotá.

Las estrategias propuestas en este trabajo y su posterior materialización pueden encontrarse con obstáculos como las barreras institucionales, capacidades inadecuadas de recursos humanos o procesos de planificación fragmentados, como lo encontró el estudio de Singh et al. (2020) en India, Guatemala y Honduras. Como se pudo observar en las problemáticas de la cuenca media del Río Bogotá, la falta de regulación, la desarticulación institucional, la falta de sistemas de seguimiento y medición del riesgo y la calidad del agua y la falta de gobernanza del agua por parte de las comunidades, deja en evidencia las bajas capacidades institucionales y sociales que pueden seguir limitando la implementación de estrategias y los resultados ambientales positivos.

Un aspecto relevante para el manejo de cuencas hidrográficas en el marco de los Objetivos del Desarrollo Sostenible son los enfoques de manejo saludable y el papel de la infraestructura verde (biorretención y mantenimiento de los ecosistemas) desde las perspectivas social, económica y ambiental (Liu et al., 2020). Estos son enfoques que se

han tenido en cuenta en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) y dentro de sus objetivos de conocimiento, planificación y transformación del desarrollo. Por esta razón, las estrategias planteadas se han establecido en correspondencia con este instrumento de planificación nacional y las tendencias internacionales de manejo saludable y de desarrollo sostenible de cuencas hidrográficas.

En la actualidad la literatura ha reconocido que las medidas no estructurales, complementadas con las estructurales, pueden generar mejores resultados en el uso del agua, la prevención del riesgo y el ordenamiento territorial (Schoeman et al., 2014). Es decir, además de llevar a cabo obras de ingeniería estructural (de cemento) las estrategias deben abordar también procesos para fortalecer las funciones de la naturaleza y las relaciones sociales alrededor de las cuencas hidrográficas, como lo han propuesto autores como López & Etulain (2019) y Olcina et al. (2020). El marco de estrategias diseñado para la adaptación y mitigación del cambio climático en la cuenca media del río Bogotá ha considerado no solo los factores técnicos para la recuperación de la calidad del agua, la adecuación de infraestructura para prevenir desastres o el control del ordenamiento territorial, sino que se han tenido en cuenta elementos estructurales a nivel social y ambiental.

Esta investigación pone de manifiesto el papel proactivo que tienen las comunidades en la gestión de la cuenca media del Río Bogotá, lo que permite la estructuración de soluciones orientadas en la capacitación social frente al riesgo y basadas en la naturaleza, bajo principios de sostenibilidad socio ambiental. Existe el interés y la necesidad de transitar hacia nuevos modelos de gestión ambiental en el ámbito de la planificación, ordenamiento territorial y administración pública de la cuenca, en los que se involucren los procesos participativos y gobernanza para el fomento de la capacidad de adaptación y la reducción de la vulnerabilidad.

Las estrategias de gestión del riesgo de desastres, aunque incluyen componentes de infraestructura, se diseñaron para incluir un enfoque social importante, pues las fallas en la gobernanza del agua y de participación de la comunidad ha conducido a que existan respuestas reactivas a los desastres y no una preparación ante los mismos (Rubiano, 2020). En este sentido, las acciones de gestión del riesgo deben tener un componente

fuerte en el fortalecimiento de las capacidades sociales; en aspectos que Olcina et al. (2020) ha propuesto: mejora en el conocimiento de gestión del riesgo, mejorar la planificación institucional de respuesta, mejora de protocolos de actuación, concientización pública ante el riesgo y acciones de protección civil. Las estrategias propuestas en este trabajo se fundamentan en estos planteamientos y establecen acciones de educación, formación de comunidades y capacitación en gestión del riesgo, lo que permite una mejor comprensión y abordaje de riesgos socio ambientales dentro de un enfoque de gestión adaptativa al cambio climático.

Por su parte, las estrategias de ordenamiento territorial deben considerar que en el uso de la tierra existen diferentes procesos estructurales que pueden impedir procesos exitosos de protección de la cuenca. Ratna et al. (2017) encontró que cuando se interviene la cuenca no siempre se garantiza una distribución adecuada de beneficios en la comunidad, pues estos se concentran en quienes tienen a tierra, lo que desincentiva la participación de quienes no poseen la tierra. En este sentido, el ordenamiento territorial de la cuenca media del río Bogotá debe garantizar acceso, seguridad y claridad en el control de la tierra y condiciones climatológicas y geológicas que permitan observar diferencias perceptibles de las intervenciones.

Este trabajo resalta la importancia de las acciones de conocimiento y reducción de impactos ambientales en la cuenca, puesto que estos procesos permiten que se aborde la gran parte de la problemática al reconocer y mitigar las causas de la contaminación o el uso inadecuado de los recursos. La mayoría de soluciones al problema ambiental de la cuenca media del Río Bogotá se han enfocado en el manejo de los impactos negativos, en las consecuencias, algunas veces al ocultamiento de los problemas mediante obras de ingeniería. Las soluciones que no aborden las causas socio ambientales del deterioro de la cuenca media del río Bogotá mediante procesos de control, planeación, información y participación social, tendrán un carácter temporal y de bajo impacto.

En futuros trabajos el marco estratégico presentado puede detallarse en acciones puntuales dentro de cada estrategia, considerando además el establecimiento de indicadores claros para el seguimiento y evaluación de la implementación y resultados

de estas acciones. Al respecto, Liu et al. (2020) propuso un conjunto de indicadores secundarios y terciarios para el manejo saludable de cuencas hidrográficas que puede ser de utilidad para definir los propios para la cuenca media del Río Bogotá.

CONCLUSIONES

En esta investigación se formularon estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático de la cuenca media del Río Bogotá, a partir de información técnica generada durante los últimos diez años. Esto se logró al realizar un análisis documental y de contenido a 50 documentos seleccionados y complementariamente al aplicar técnicas de minería de textos, para construir árbol de problemas y objetivos. Lo anterior, sumado al análisis del Plan Nacional de Adaptación de al Cambio Climático y las tendencias internacionales de manejo saludable de cuencas hidrográficas, permitieron formular estrategias de adaptación al cambio climático para este importante recurso hídrico. A continuación, se destacan las conclusiones de este trabajo.

La información técnica generada en los últimos 10 años se ha centrado en el uso del agua y su relación con la ocupación urbana y la ciudad, con preocupaciones frente al nivel del agua, precipitaciones y su calidad, además de soluciones referentes al uso adecuado, planes de gestión ambiental y tratamiento del agua. La información considerada para el análisis a profundidad fue en su mayoría tesis de grado y artículos, publicados principalmente en los años 2015, 2017 y 2018, los cuales estudiaron toda la cuenca, la cuenca media y los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca.

Las principales problemáticas de la cuenca media del río Bogotá han estado en relación al cambio climático, específicamente en la calidad del agua y, en menor medida por procesos hidrológicos alterados. En segundo lugar, las problemáticas de gestión del riesgo se encontraron en los riesgos de inundación, invasión de la ronda del río, debilidades en el sistema de gestión del riesgo y debilidades e infraestructura. Por su parte, las problemáticas de ordenamiento territorial se centraron en los conflictos por el uso del suelo, la falta de visión y la desarticulación en la planeación.

En concordancia con las problemáticas, las principales soluciones planteadas se encontraron respecto al cambio climático en temáticas como mantener y mejorar la calidad el agua, promover la conciencia y participación en el público y mejorar la gobernabilidad, mantener o restaurar ecosistemas, bosques y cobertura vegetal, sostener procesos hidrológicos fundamentales y acomodar los alterados. En segundo

lugar, las soluciones frente a las problemáticas de gestión del riesgo fueron estructurales (obras de ingeniería en cemento) y no estructurales (sistemas de gestión o de información, soluciones ambientales o soluciones sociales). Las soluciones frente a ordenamiento territorial se centraron en regular el uso del suelo y visiones de planeación en donde el epicentro sea la cuenca media del Río Bogotá.

Las estrategias propuestas para adaptar y mitigar el cambio climático en la cuenca media del Río Bogotá para su desarrollo sostenible, buscan reducir la vulnerabilidad al cambio climático y la contaminación, mejorar las capacidades de retención y regulación hídrica y ordenar el crecimiento rural y urbano. Las estrategias planteadas, además de los aspectos técnicos e ingenieriles, priorizan la atención a problemas estructurales a nivel social y ambiental. De esta manera se pretende lograr un manejo saludable de la cuenca a largo plazo en el que los procesos ecosistémicos ayudan a regular los procesos naturales del agua y la población ha aprendido a convivir con la cuenca sin causar impactos ambientales negativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, J. V., & Montoya, B. T. (2018). Estado del arte de la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en los instrumentos de planificación territorial departamental: Estudio de caso Dosquebradas [Tesis de Grado, Universidad Libre]. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17051>
- Álvarez, E., & Murillo, J. C. (2019). Creación del estado del arte para la cuenca media del río Bogotá, como mecanismo de apropiación social. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16550>
- Arias, J. (2018). Herramientas de apoyo mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la estructura de las cuencas hidrográficas en la Dirección de Gestión Ambiental del Sistema Hídrico (DGASH) dentro de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP) [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13025>
- Barrera, N. (2015). Efectos ambientales y sociales de la minería y las curtiembres: Dos escenarios estratégicos en la cuenca media del río Tunjuelo. *Katharsis*, 19, 181-206. <https://doi.org/10.25057/25005731.494>
- Bejarano, J. (2015). Revisión de los procesos de monitoreo y mitigación del factor riesgo, producidos desde la ola invernal de 2010-2011 en el río Bogotá y su área de influencia [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/6343>
- Bermúdez, B. (2021). Despertar de un río, un modelo de participación ambiental sostenible en la cuenca media del Río Bogotá [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/52942>
- Bernal, J., & García, D. (2011). Usos y servicios ambientales actuales y potenciales de los ecosistemas hídricos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca en Bogotá para el período 2001-2011 [Tesis de Grado, Universidad Piloto de Colombia].

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/792/00000257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bird, S. (2006). NLTK: The natural language toolkit. Proceedings of the COLING/ACL on Interactive Presentation Sessions -, 69-72. <https://doi.org/10.3115/1225403.1225421>
- Bohórquez, D. (2018). Centro de Investigación para la Adaptación al Cambio Climático Plan Parcial Biogénesis Urbana Bogotá D.C. - Colombia [Tesis de Grado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6777>
- Camelo, S. (2018). Actualización del componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua- ERA en la cuenca media y baja del Río Bogotá [Tesis de Grado, Universidad El Bosque]. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3274>
- Cárdenas, C., Reyes, J. D., & Bustos, E. H. (2017). Perspectivas sobre la educación hídrica para la cuenca baja del río Fucha. Experiencia en la localidad de Fontibón. Revista Bio-grafía Escritos sobre la biología y su enseñanza, 518-524. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7145>
- Castaño, M. J., & Urrego, L. M. (2015). Problemáticas socioambientales en la cuenca del río Tunjuelo: Una posibilidad en la enseñanza y el aprendizaje de la geografía. Giramundo, 2(4), 95-108. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5489975>
- Castilla, Á., Castro, M., Gutiérrez, A. M., & Aldana, C. (2018). Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014. Revista UIS Ingenierías, 17(2), 19-32. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018002>
- Castro, M. F., Díaz, D. M., & Montenegro, C. E. (2015). Análisis de la Calidad del Agua del Río Bogotá Durante el Periodo 2008 – 2015 a Partir de Herramientas de Minería de Datos. Publicaciones e Investigación, 9, 37-50. <https://doi.org/10.22490/25394088.1432>

- CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Charry, A. M., & Delgado, W. G. (2014). Disponibilidad a pagar por un plan de conservación en la cuenca del río Tunjuelo Bogotá-Colombia. *Anales de economía aplicada* 2014, 654-665. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5057355>
- Cheng, C., Yang, Y. C. E., Ryan, R., Yu, Q., & Brabec, E. (2017). Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA. *Landscape and Urban Planning*, 167, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.019>
- Contraloría de Bogotá. (2020). Aplicación de la Metodología de Evaluación Económica del Daño Ambiental en el Caso de la Cuenca Media del Río Bogotá, como Herramienta del ejercicio del Control Fiscal de la Contraloría de Bogotá D.C. Dirección de Estudios de Economía y Política Pública. <http://www.contraloriabogota.gov.co/sites/default/files/Contenido/Informes/Estructurales/Ambiente/Estudio%20aplicación%20Metodología%20Eval%20Econ%20daño%20ambiental%20cuenca%20baja%20rio%20Bogta%20ULT.pdf>
- Contreras, M. (2016). Minería de texto en la clasificación de material bibliográfico. *Biblios*, 64, 33-43. <https://doi.org/10.5195/biblios.2016.309>
- Corrales, L. C., Sánchez, L. C., & Quimbayo, M. E. (2018). Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá. *Nova*, 16(29), 71-89. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-24702018000100071&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Cortes, G., & Castro, E. (2011). Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la contaminación de cadmio y plomo en agua, suelo y sedimento, en la parte baja de la sub cuenca Río Balsillas, cuenca media Río Bogotá [Tesis de Grado,

Universidad de la Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1782

Cortés, L. E., & Pérez, S. A. (2020). Apoyo a los procesos de educación ambiental y cultural en la cuenca del río Salitre Torca, llevados a cabo por el Jardín Botánico de Bogotá. [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas].
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23815>

Costa, C., Urazán, C., & Velandia, E. (2018). El proyecto de recuperación ambiental y control de las inundaciones del río Bogotá. En I. Aguilar, J. Mahlkecht, J. Kaledin, M. Kjellén, & A. Mejía (Eds.), *Agua y ciudades en América Latina: Retos para el desarrollo sostenible* (pp. 159-172). Inter-American Development Bank.

Cristancho, D. L., Gámez, W., Guerra, J. A., & Dueñas, M. F. (2019). Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(34), 25-44. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n34a2>

Daneshi, A., Brouwer, R., Najafinejad, A., Panahi, M., Zarandian, A., & Maghsood, F. F. (2021). Modelling the impacts of climate and land use change on water security in a semi-arid forested watershed using InVEST. *Journal of Hydrology*, 593, 125621. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125621>

Díaz, M. A., & Camacho, L. A. (2012). Valoración de cambios hidrológicos en la cuenca del río Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 36, 77-85. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-49932012000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Díaz, P. (2013). Influencia de los patrones de ocupación y urbanización del territorio en la desecación del suelo en la Sabana de Bogotá. *Revista Nodo*, 8(15), 97-117. <http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/97>

Dueñas, J. (2020). Gobernanza colaborativa en la planificación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá. Respuestas a los conflictos por el agua [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes].
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/48494>

- EPAM SA. (2014). Realizar una propuesta de estrategias, metodologías y herramientas para la implementación de la evaluación regional del agua, así como para definir los Requerimientos funcionales del sistema de información regional del recurso hídrico. Empresa de agua, alcantarillado y aseo de Bogotá, Estudios y proyectos ambientales y mecánicos. <http://www.orarbo.gov.co/es/documentacion-y-enlaces/listado/desarrollo-y-validacion-de-la-evaluacion-regional-del-agua-en-la-cuenca-hidrografica-del-rio-tunjuelo-producto-3>
- Few, R. (2003). Flooding, vulnerability and coping strategies: Local responses to a global threat. *Progress in Development Studies*, 3(1), 43-58. <https://doi.org/10.1191/1464993403ps049ra>
- Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., Hill, R. A., Stoddard, J. L., Thoms, M. C., & Tharme, R. E. (2016). A Watershed Integrity Definition and Assessment Approach to Support Strategic Management of Watersheds. *River Research and Applications*, 32(7), 1654-1671. <https://doi.org/10.1002/rra.2978>
- Giri, S., Lathrop, R. G., & Obropta, C. C. (2020). Climate change vulnerability assessment and adaptation strategies through best management practices. *Journal of Hydrology*, 580, 124311. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124311>
- Gómez, F. (2017). Deterioro y recuperación del Río Bogotá: Un análisis de los componentes ambientales y urbanos de la cuenca media, 1900-2017 [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/34291>
- González, L., & Quintero, J. (2015). Diseño de red 3G para monitoreo en tiempo real del caudal de río Bogotá [Tesis de Especialización, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/564>
- Güiza, L., Londoño, B., & Rodríguez, C. (2015). La judicialización de los conflictos ambientales: Un estudio del caso de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá (CHRB), Colombia. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 31(2), 195-209. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/18421>

- Herrán, M. (2017). Estudio para la determinación de la franja inundable de la subcuenca Quebrada Chiguaza perteneciente a la Cuenca del Río Tunjuelo [Tesis de Especialización, Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/3173>
- Herrera, A., Prieto, R., & García, Y. (2020). Análisis de sostenibilidad ambiental del relleno sanitario Doña Juana (Bogotá—Colombia), a través de la metodología IICA para la estimación de huella hídrica. *Acta Nova*, 9(4), 553-568.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1683-07892020000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- IPCC. (2001). Cambio Climático. Informe de síntesis. PNUMA.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/TAR_syrfull_es.pdf
- Ivanova, Y., Domínguez Calle, E. A., & Sarmiento, A. (2018). Evaluación del efecto sobre el metabolismo hídrico de la ciudad Bogotá como respuesta al cambio en el modelo de gestión del agua en los años 90. *Ambiente y Desarrollo*, 22(42), 1-10.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-42.eesm>
- Jaramillo, Á. M., & Cabrera, L. M. (2014). Calidad del agua en la Reserva Forestal Regional productora del norte de Bogotá, Thomas Van der Hammen. *Revista de Ingeniería y Región*, 11, 17-27.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/740/1419>
- Joya, C. (2015). Análisis y diseño de políticas para el control y regulación hidrográfica del cauce del río Bogotá en las cuencas alta, media y baja utilizando dinámica de sistemas [Tesis de Maestría, Universidad Distrital Francisco José De Caldas].
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7255>
- Liu, B.-W., Wang, M.-H., Chen, T.-L., Tseng, P.-C., Sun, Y., Chiang, A., & Chiang, P.-C. (2020). Establishment and implementation of green infrastructure practice for healthy watershed management: Challenges and perspectives. *Water-Energy Nexus*, 3, 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.003>
- López, I., & Etulain, J. C. (2019). Gestión Integral del Riesgo Hídrico por Inundaciones Urbanas. En I. López & J. C. Etulain (Eds.), *Políticas, paisajes y territorios*

- vulnerables: Tres miradas sobre el Gran La Plata: 2006-2017 (pp. 169-184). Diseño Editorial.
- Luis, W. (2018). Diagnóstico de la estructura ecológica principal de Bogotá durante los años 2008 – 2015 [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20382>
- Lyu, L., Wang, X., Sun, C., Ren, T., & Zheng, D. (2019). Quantifying the Effect of Land Use Change and Climate Variability on Green Water Resources in the Xihe River Basin, Northeast China. *Sustainability*, 11(2), 338. <https://doi.org/10.3390/su11020338>
- Martínez, J. (2020). Centro Cultural de Integración Social. Recuperación cuenca media y baja Rio Fucha Bogotá Colombia [Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25136>
- Matthews, T., Lo, A. Y., & Byrne, J. A. (2015). Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. *Landscape and Urban Planning*, 138, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.010>
- Mays, L. (2007). *Water resources sustainability*. Mc Graw Hill.
- Mekonnen, M., Abeje, T., & Addisu, S. (2021). Integrated watershed management on soil quality, crop productivity and climate change adaptation, dry highland of Northeast Ethiopia. *Agricultural Systems*, 186, 102964. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102964>
- Mesa, C., Mesa, A., Montenegro, C. E., & Gaona, P. A. (2017). Análisis geoestadístico y predicción espacial para el índice de calidad del agua en el río Bogotá. *Global Partnerships for Development and Engineering Education: Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 104. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7353037>
- MinAmbiente. (2014). *Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS. Anexo B. Gestión del riesgo*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Montoya, G. A., & Rivera, M. E. (2021). Los componentes ambientales de la cuenca Torca: Un insumo para el análisis de los escenarios de variabilidad climática en la ciudad de Bogotá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1-11. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1833>
- Moreno, J. (2018). Actualización del componente de riesgos hídricos de la evaluación regional del agua (era) de la cuenca media y baja del río Bogotá [Tesis de Grado, Universidad El Bosque]. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3294>
- Olarte, J. (2017). Estrategias de ordenamiento territorial para la ciudad de Bogotá, a partir de su relación con la cuenca media del Río Bogotá [Tesis de Grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/722>
- Olcina, Á., Ortiz, G., & Aznar, P. (2020). Evaluación de la integración de la dimensión social y la participación pública en los planes de gestión del riesgo de inundación: ¿cambio o continuidad paradigmática? En M. I. López & J. Melgarejo (Eds.), *Riesgo de inundación en España: Análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 1283-1292). Universitat d'Alacant.
- Orozco, P. (2016). Alternativas para el manejo de aguas pluviales en medios urbanos. Estudio de caso: Implementación y manejo de los canales pluviales en las cuencas del Salitre y Tintal en el marco del proceso de recuperación Río Bogotá 2000- 2014 [Tesis de Grado, Universidad del Rosario]. En *Instname:Universidad del Rosario*. <https://repositorio.urosario.edu.co/handle/10336/12714>
- Ortegon, L. T., & Rubio, J. P. (2020). Propuesta de mejoramiento paisajístico mediante la formulación de elementos para un plan de acción en la cuenca media del río Fucha en la Localidad de Puente Aranda, Bogotá [Tesis de Especialización, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <http://repositorio.udistrital.edu.co/handle/11349/25116>
- Ospina, L. (2018). Propuesta para la determinación del radio de incidencia del 131l a través de una metodología de muestreo en la cuenca media del río Bogotá

[Fundación Universidad de América].
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6727>

- Parra, L. K., & Montealegre, H. (2020). Diseño de estrategias de conservación, mejoramiento y aprovechamiento del recurso hídrico en el sector sur de la Cuenca Hidrográfica de Río Seco – Revisión Sistemática. *Journal of business and entrepreneurial studies: JBES*, 4(1 (Enero-Junio)), 11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7472726>
- Peña, C., Melgarejo, J. M., & Prats, D. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: Estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 57-71. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7357393>
- Pinzón, L. F., & Ramírez, D. L. (2018). Análisis metales pesados en los sedimentos del río Bogotá. XI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias. XI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias, Bogotá. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj3xpbk_JLyAhXTSzABHSmDAdcQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Frepository.unimilitar.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F10654%2F20051%2FMemorias%2520Simposio%25202018.pdf%3Fsequence%3D3%26isAllowed%3Dy&usq=AOvVaw3i6FxFp4RJMBRPmy1ewrly&cshid=1627929368545754
- Piza, L. (2017). Revisión de las acciones de gestión del riesgo establecidas del año 2009 a 2015 por las entidades distritales y la CAR-Cundinamarca, para el río Bogotá en la localidad de Fontibón [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16403>
- Proag, V. (2014). The Concept of Vulnerability and Resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18, 369-376. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00952-6)
- Ratna, V., Saharawat, Y. S., & George, B. (2017). Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of Hydrology*, 551, 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.043>

- Rincón, F. A., & Mosquera, J. C. (2019). Apoyo en la elaboración e implementación de programas de educación ambiental para la apropiación social de las coberturas vegetales en la cuenca Salitre de la subdirección educativa y cultural del Jardín Botánico de Bogotá [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15404>
- Rodríguez, G. A. (2020). Retos para enfrentar el cambio climático en Colombia. Editorial Universidad del Rosario.
- Rubiano, G. (2020). Estudio de la historia ambiental en la cuenca alta y media del Río Bogotá como herramienta prospectiva de adaptación a eventos extremos [Tesis de Grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3572>
- Ruiz, R. I., Román, C., & Gonzalez, C. H. (2018). Revisión de la gestión ambiental sobre el territorio y cambio climático en el departamento del Quindío, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 163-176. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.71501>
- Santafe, L. (2012). La declaratoria de la Responsabilidad Fiscal: ¿Función Administrativa o Jurisdiccional? [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Schoeman, J., Allan, C., & Finlayson, C. M. (2014). A new paradigm for water? A comparative review of integrated, adaptive and ecosystem-based water management in the Anthropocene. *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), 377-390. <https://doi.org/10.1080/07900627.2014.907087>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2014). Aproximación a las implicaciones del Fallo del Consejo de Estado sobre el Río Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá. <http://www.sdp.gov.co/gestion-socioeconomica/integracion-regional-y-nacional/publicaciones/aproximacion-a-las-implicaciones-del-fallo-del-consejo-de-estado-sobre-rio-bogota>
- Shannon, P. D., Swanston, C. W., Janowiak, M. K., Handler, S. D., Schmitt, K. M., Brandt, L. A., Butler-Leopold, P. R., & Ontl, T. (2019). Adaptation strategies and approaches for forested watersheds. *Climate Services*, 13, 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.01.005>

- Silva, A. (2016). Biotopos artificiales y especies arquitectónicas: Ecología para la cuenca media del río Tunjuelo, localidad de Usme [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/20856>
- Silva, Y. (2020). Análisis de la correlación entre el daño causado al recurso hídrico y el incremento en el área construida de vivienda no planificada, Localidad Ciudad Bolívar, Bogotá, D.C., cuenca media Río Tunjuelo [Tesis de Especialización, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28979>
- Singh, C., Bazaz, A., Ley, D., Ford, J., & Revi, A. (2020). Assessing the feasibility of climate change adaptation options in the water sector: Examples from rural and urban landscapes. *Water Security*, 11, 100071. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100071>
- Thepot, R. (2017). Does the Watershed Represent a Key Area within Flood Risk Knowledge and Management? En *Floods* (Vol. 2, pp. 93-101). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-269-4.50007-X>
- Torres, W., & Moreno, H. (2019). Evaluación de la adecuación hidráulica del Río Bogotá sobre la calidad del agua tomando como base datos históricos [Tesis de Especialización, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24075>
- Urbano, D. (2014). Parque metropolitano zona franca Fontibón y de apoyo a la recuperación del río Bogotá [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/17311>
- Villegas, E. (2014). Propuesta de lineamientos conceptuales y metodológicos para la planificación de la gestión sostenible de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, desde una perspectiva regional [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/42859>

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de artículos analizados para los resultados

#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
1	Centro de Investigación para la adaptación al cambio climático. Plan parcial Biogénesis urbana Bogotá D.C.– Colombia	Daniel José Bohórquez	2018	Repositorio Universidad de América
2	Propuesta de Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Planificación de la Gestión Sostenible de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá, desde una perspectiva regional.	Ernesto Villegas	2014	Repositorio Universidad Nacional de la Plata
3	Desarrollo y validación de la evaluación regional del agua en la cuenca hidrográfica del río Tunjuelo	Epam s.a	2013	Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá Orarbo
4	Estudio para la Determinación de la Franja Inundable de la Subcuenca Quebrada Chiguaza Perteneciente a la Cuenca del Río Tunjuelo	Marcela Patricia Herrán Álvarez	2017	Repositorio Universidad Santo Tomás
5	Problemáticas socio ambientales en la cuenca del río Tunjuelo: una posibilidad en la enseñanza y el aprendizaje de la geografía	María Johana Castaño Pachón Laura Marcela Urrego Muñoz	2015	Dialnet
6	Evaluación de la adecuación hidráulica del Río Bogotá sobre la calidad del agua tomando como base datos históricos	Wilmar Torres Torres Hernán Camilo Moreno Chaparro	2019	Repositorio Universidad Católica
7	Aplicación de la Metodología de Evaluación Económica del Daño Ambiental en el Caso de la Cuenca Media del Río Bogotá, como Herramienta del ejercicio del Control Fiscal de la Contraloría de Bogotá D.C.	Contraloría de Bogotá	2020	Contraloría de Bogotá
8	Creación del estado del arte para la cuenca media del río Bogotá como mecanismo de apropiación social	Erika Giseth Álvarez Carreño 1 , Juan Carlos Murillo Coba 2 .	2019	Repositorio Universidad Santo Tomás
9	Estrategias de ordenamiento territorial para la ciudad de bogotá, a partir de su relación	José Ricardo Olarte Riaño	2017	Repositorio Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales



#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
	con la cuenca media del río Bogotá.			
10	Revisión de las acciones de gestión del riesgo establecidas del año 2009 a 2015 por las entidades distritales y la CAR Cundinamarca, para el río Bogotá en la localidad de Fontibón.	Luis Hernando Piza Laiton	2017	Repositorio Universidad Militar
11	Biotopos artificiales y especies arquitectónicas: ecología para la cuenca media del río Tunjuelo, localidad de Usme	Andrea Carolina Silva Oviedo	2016	Repositorio Universidad Javeriana
12	Parque Metropolitano zona franca Fontibón y de apoyo a la recuperación del río Bogotá	Duvan Camilo Urbano Riaño	2014	Repositorio Universidad Javeriana
13	Diseño de Red 3G para Monitoreo en Tiempo Real del Caudal del Río Bogotá	Lyda González Marín & Julián Daniel Quintero Martínez	2015	Repositorio Universidad Santo Tomás
14	Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá	Diana Lucía Cristancho Montenegro** Wilson Gámez Posada*** Jorge Armando Guerra Alfaro**** María Fernanda Dueñas Escudero	2019	Scielo
15	Cuenca del río Bogotá: un reto más social que ambiental	Clara Santafe Millán	2017	Revista Universidad del Bosque
16	Disponibilidad a pagar por un plan de conservación en la cuenca del río Tunjuelo Bogotá-Colombia	: Angélica María Charry Meléndez, William G. Delgado Munévar	2014	Dialnet
17	Evaluación del efecto sobre el metabolismo hídrico de la ciudad Bogotá como respuesta al cambio en el modelo de gestión del agua en los años 90	Yulia Ivanova, Antonio Domínguez Calle, Armando Sarmiento Santos	2018	Dialnet
18	Análisis geoestadístico y predicción espacial para el índice de calidad del agua en el Río Bogotá	Cindy Daniela Mesa Wilchez, Andrés David Mesa Ospina, Carlos Enrique Montenegro Marín, Paulo Alonso Gaona Garcia	2017	Conferencia de la LACCEI Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions
19	Calidad del agua en la reserva forestal regional productora del norte de Bogotá, Thomas Van der Hammen	Ángela María Jaramillo, Luz Marina Cabrera Morillo	2014	Dialnet
20	Perspectivas sobre la educación hídrica para la cuenca baja del río Fucha 1. Experiencia en la localidad de Fontibón	Carolina Cárdenas Herrera, Jaime Duván Reyes, Edier Hernán Bustos Velazco	2017	Revista Universidad Pedagógica



#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
21	Influencia de los patrones de ocupación y urbanización del territorio en la desecación del suelo en la Sabana de Bogotá	Pilar Díaz Forero	2013	Dialnet
22	Análisis de sostenibilidad ambiental del relleno sanitario Doña Juana (Bogotá – Colombia), a través de la metodología IICA para la estimación de huella hídrica.	Andrés Herrera-Aguilar1 , Rafael Prieto-Ramírez2 , Yennifer García-M	2020	Scielo
23	Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá	Lucía Constanza Corrales Ramírez Ligia Consuelo Sánchez Leal Melco Esteban Quimbayo Salamanca	2018	Scielo
24	La judicialización de los conflictos ambientales: un estudio del caso de la cuenca hidrográfica del río Bogotá (CHRB), Colombia	Leonardo Güiza Suárez, Beatriz Londoño Toro y Cristhian David Rodríguez Barajas	2015	Scielo
25	Valoración de cambios hidrológicos en la cuenca del río Bogotá	Mario A. Díaz-Granados Ortiz(1)*, Luis A. Camacho Botero	2012	Scielo
26	Aproximación a las implicaciones del fallo del consejo de estado sobre el Río Bogotá en el ordenamiento territorial regional	Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá	2015	Secretaría Distrital de Planeación
27	Efectos ambientales y sociales de la minería y las curtiembres: dos escenarios estratégicos en la cuenca media del río Tunjuelo	Nubia Barrera Silva	2015	Dialnet
28	Recuperación cuenca media y baja Río Fucha Bogotá Colombia	José Luis Martínez Segura	2020	Repositorio Universidad Católica
29	Evaluación del impacto ambiental ocasionado por la contaminación de cadmio y plomo en agua, suelo y sedimento, en la parte baja de la sub cuenca Río Balsillas, cuenca media Río Bogotá	Graciela Katherine Cortes Gil Edith Viviana Castro Franco	2011	Repositorio Universidad de la Salle
30	Propuesta para la determinación del radio de incidencia del 1311 a través de una metodología de muestreo	Ospina Perdigón, Liseth Andrea	2018	Repositorio Universidad de América



#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
	en la cuenca media del río Bogotá			
31	Revisión de los procesos de monitoreo y mitigación del factor riesgo, producidos desde la ola invernal de 2010-2011 en el río Bogotá y su área de influencia	Bejarano Arcila, Juan Camilo	2015	Repositorio Universidad Militar
32	Análisis de la correlación entre el daño causado al recurso hídrico y el incremento en el área construida de vivienda no planificada, Localidad Ciudad Bolívar, Bogotá, D.C., cuenca media Río Tunjuelo	Yonny Silva Baracaldo	2020	Repositorio Universidad Santo Tomás
33	Actualización del componente de riesgos hídricos de la evaluación regional del agua (era) de la cuenca media y baja del río Bogotá	Moreno Villamizar, Juan Camilo	2018	Repositorio Universidad del Bosque
34	Actualización del componente de oferta hídrica de la Evaluación Regional del Agua- ERA en la cuenca Media y Baja del Río Bogotá	Stephany Julieth Camelo Jiménez	2018	Repositorio Universidad del Bosque
35	Análisis metales pesados en los sedimentos del río Bogotá	Luis Felipe Pinzón Uribe David Leonardo Ramírez Contreras	2018	Repositorio Universidad Militar
36	Deterioro y recuperación del Río Bogotá. Un análisis de los componentes ambientales y urbanos de la cuenca media. 1900 - 2017	Fernando Alonso Gómez Zuluaga	2017	Repositorio Universidad de los Andes
37	El proyecto de recuperación ambiental y control de las inundaciones del río Bogotá	Carlos R. Costa Posada Carlos Felipe Urazán Bonells Edder A. Velandia Durán	2015	Banco Interamericano de Desarrollo
38	Despertar de un río, un modelo de participación ambiental sostenible en la cuenca media del Río Bogotá	Bermúdez Pulido, Brenda Tatiana	2021	Repositorio Universidad Javeriana
39	El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad	Carlos Andrés Peña-Guzmán* • Joaquín Melgarejo • Daniel Prats	2016	Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante
40	Herramientas de apoyo mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la estructura de las cuencas hidrográficas en la	Arias Cubillos, Julián David	2018	Repositorio Universidad Distrital



#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
	Dirección de Gestión Ambiental del Sistema Hídrico (DGASH) dentro de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB-ESP)			
41	Usos y servicios ambientales actuales y potenciales de los ecosistemas hídricos de los ríos Tunjuelo, Fucha, Salitre y Torca en Bogotá para el período 2001-2011	Bernal Gutiérrez, Juan José García Rojas, Diego Mauricio	2011	Repositorio Universidad Piloto
42	Análisis de la Calidad del Agua del Río Bogotá Durante el Periodo 2008 – 2015 a Partir de Herramientas de Minería de Datos	Mario Fernando Castro Fernández Daissy Milena Díaz Casallas Carlos Enrique Montenegro Marín	2015	Repositorio Universidad Nacional Abierta y a Distancia
43	Propuesta de mejoramiento paisajístico mediante la formulación de elementos para un plan de acción en la cuenca media del río Fucha en la Localidad de Puente Aranda, Bogotá	Ortegon Pinilla, Leidy Tatiana Rubio Sanabria, Jennifer Paola	2020	Repositorio Universidad Distrital
44	Análisis y diseño de políticas para el control y regulación hidrográfica del cauce del río Bogotá en las cuencas alta, media y baja utilizando dinámica de sistemas	Joya Suárez, César Leonardo	2015	Repositorio Universidad Distrital
45	Apoyo a los procesos de educación ambiental y cultural en la cuenca del río Salitre Torca, llevados a cabo por el Jardín Botánico de Bogotá.	Leonel Eduardo Cortes Guzmán Sebastián Andrés Pérez Calderón	2020	Repositorio Universidad Distrital
46	Diagnóstico de la estructura ecológica principal de Bogotá durante los años 2008 – 2015	Luis Alvarez, William Gustavo	2018	Repositorio Universidad Santo Tomás
47	Apoyo en la elaboración e implementación de programas de educación ambiental para la apropiación social de las coberturas vegetales en la cuenca Salitre de la subdirección educativa y cultural del Jardín Botánico de Bogotá	Rincón Berdugo, Freddy Alcides Mosquera Lerma, Julio César	2019	Repositorio Universidad Distrital
48	Alternativas para el manejo de aguas pluviales en medios	Orozco Roa, Paula Andrea	2016	Repositorio Universidad del Rosario



#	Título	Autor	Fecha	Repositorio o Base de datos
	urbanos. Estudio de caso : implementación y manejo de los canales pluviales en las cuencas del Salitre y Tintal en el marco del proceso de recuperación Río Bogotá 2000- 2014			
49	Estimación sectorial de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá generada en el año 2014	Ángela Castillo-Rodríguez ¹ , Marisol Castro-Chaparro ² , Álvaro Gutiérrez-Malaxechebarría ³ , Carmen Aldana-Gaviria	2018	Revista de la Universidad Industrial de Santander
50	Los componentes ambientales de la cuenca Torca: un insumo para el análisis de los escenarios de variabilidad climática en la ciudad de Bogotá, Colombia	Grace Andrea Montoya-Rojas ¹ ; Michael Esteban Rivera-Marroquín ²	2021	Repositorio Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales