

PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA TÉCNICO AMBIENTAL DE GESTIÓN HÍDRICA
EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ (CHOCONTÁ) PARA SU
APROVECHAMIENTO EN RIEGO DE CULTIVOS.

MS.c JUAN CAMILO GÓMEZ CAIPA

Proyecto integral de grado para optar al título de Magister en Gestión Ambiental para la
Competitividad.

Orientador

PhD. Angie Tatiana Ortega Ramírez

Doctora en Desarrollo Sostenible.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD

BOGOTÁ D.C

2024

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del Director

Nombre

Firma del Presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá D.C agosto de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad de América y Rector del Claustro.

(Dr.) Mario Posada García-Peña.

Consejero Institucional.

(Dr.) Luis Jaime Posada García-Peña.

Vicerrectora Académica.

(Dra.) María Fernanda Vega de Mendoza.

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión.

(Dra.) Susan Margarita Benavides

Vicerrector Administrativo y Financiero.

(Dr.) Ramiro Augusto Forero Corzo.

Secretario General.

(Dr.) José Luis Macías Rodríguez.

Decana de la Facultad.

(Dra.) Naliny Patricia Guerra Prieto.

Directora del Programa.

(Dra.) Nubia Liliana Becerra Ospina.

DEDICATORIA

Este trabajo se realizó con la esperanza de que juntos
podamos trabajar hacia un futuro sostenible y
saludable para nuestro amado Río Bogotá.

Con cariño y gratitud, dedico este trabajo de investigación a mi amada esposa, a mi familia y a todos aquellos que hacen uso del río Bogotá.

A ti, mi esposa, quiero expresar mi profunda gratitud por tu constante apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de este arduo proceso. Tu amor incondicional y tu fe en mí han sido el motor que me impulsa a seguir adelante. Gracias por creer en mis sueños y por estar siempre a mi lado, brindándome el apoyo emocional y el aliento que necesitaba para superar los diferentes desafíos que se presentaron en el camino.

A todos aquellos que hacen uso del río Bogotá, esta dedicatoria va especialmente para ustedes. A medida que he investigado y comprendido los desafíos y problemas que enfrenta nuestro amado río Bogotá, he notado la importancia de educar y promover acciones que contribuyan a su conservación y recuperación.

Espero que esta investigación sea un punto de partida para generar cambios positivos en la gestión hídrica y la conservación del río Bogotá. Que motive a particulares y privados a tomar medidas concretas para preservar su biodiversidad, mejorar su calidad de agua y promover su uso responsable.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas, instituciones y expertos que han compartido su conocimiento y experiencias a lo largo de este estudio. Sus aportes han sido invaluable y han enriquecido mi comprensión sobre el río Bogotá y los desafíos que enfrenta, agradezco su generosidad y dedicación hacia la protección de este recurso tan importante para nuestra ciudad y país.

Esta dedicatoria es un humilde reconocimiento a todos aquellos que han sido parte de este camino, espero que este trabajo contribuya a generar acciones que promuevan un futuro más sostenible y próspero para todos.

¡Gracias por su apoyo y compromiso!

AGRADECIMIENTOS.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi amada esposa por su constante apoyo y aliento a lo largo de mi trayecto en el desarrollo de mi segunda maestría. Tu apoyo incondicional y amor han sido un pilar fundamental en este proyecto, motivándome a alcanzar mis metas y superar cualquier obstáculo que se presentara en el camino. Tu presencia y comprensión han sido mi mayor fortaleza, y estoy eternamente agradecido por todo lo que has hecho por mí.

Además, quiero extender mi más sincero agradecimiento a los docentes del Programa de Maestría en Gestión Ambiental para la Competitividad de la Universidad de América. Su dedicación, experiencia y guía han sido fundamentales para mi crecimiento profesional. Su pasión por el campo de la gestión ambiental ha sido enriquecedora a lo largo de las diferentes clases, y gracias a su compromiso, he adquirido conocimientos valiosos y herramientas prácticas que me serán de gran utilidad en mi propósito de vida.

Por último, agradezco especialmente a la PhD. Angie Tatiana Ortega Ramírez, cuyo compromiso y entusiasmo han permitido desarrollar este proyecto de investigación con excelentes resultados. Sus enseñanzas han sido inspiradoras y su apoyo ha sido invaluable. Gracias por compartir su experiencia a lo largo del programa.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	17
1.1 Objetivo general	17
1.2 Objetivos específicos	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
3. MARCO TEÓRICO	21
3.1 Caracterización del municipio de Chocontá.	21
3.2 Caracterización del sector agrícola en Colombia.	25
3.2.1 Participación en el Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia.	27
3.3 Sector Agrícola en Chocontá.	28
3.4 Normatividad.	28
3.5 Caracterización del Río Bogotá	29
3.5.1 Caracterización del agua y estrés hídrico.	30
3.5.2 Problemáticas ambientales, sociales y económicas	31
3.5.3 Beneficios del manejo adecuado del recurso hídrico.	31
3.6 Gestión Hídrica.	32
3.6.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico.	33
3.6.2 Estrategias técnico-ambientales seleccionadas por bibliografía a ser consultadas a los expertos.	34
3.6.3 Desafíos técnicos y económicos seleccionadas por bibliografía a ser consultadas a los expertos.	36
3.7 Tipos de Análisis Multicriterio.	38

3.7.1	Modelo de utilidad multiatributo.	38
3.7.2	Relaciones de superación y análisis jerárquico.	38
3.7.3	Ponderación lineal.	39
3.7.4	Maximin y maximax.	39
3.7.5	Regime.	39
4.	METODOLOGÍA	41
4.1	Fase 1: Diagnóstico de la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá	41
4.2	Fase 2: Identificación de los parámetros hídricos para el uso de agua en cultivos.	41
4.3	Fase 3: Propuesta de la estrategia de gestión hídrica para el uso de agua del Río Bogotá en el municipio de Chocontá.	47
4.3.1	Matriz de expertos	47
4.3.2	Sesgo del instrumento	50
4.4	Fase 4: Determinación de la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta seleccionada.	52
4.4.1	Método de análisis multicriterio para la matriz de expertos.	52
4.4.2	Descripción del instrumento utilizado.	53
4.4.3	Variables de sostenibilidad ambiental orientadas a la adecuada gestión hídrica en riego de cultivos.	56
4.4.4	Estrategia para la gestión hídrica del río Bogotá para riego de cultivos en el municipio de Chocontá.	57
4.5	Fase 5: Estimación de los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta.	57
5.	DISCUSIÓN Y RESULTADOS	58

5.1 Diagnóstico de la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá con énfasis en Chocontá.	58
5.1.1 Localización geográfica de la Cuenca Alta del Río Bogotá.	58
5.1.2 Municipios pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Bogotá.	59
5.1.3 Problema ambiental en la Cuenca Alta del Río Bogotá.	60
5.1.4 Gestión del Recurso Hídrico.	61
5.2 Identificación de parámetros hídricos para uso de agua en cultivos.	64
5.2.1 Parámetros de agua según el Decreto 1076 de 2015.	64
5.2.2 Parámetros de agua detectados en el municipio de Chocontá	65
5.3 Propuesta de la estrategia de gestión hídrica para el uso de agua del Río Bogotá en el municipio de Chocontá.	69
5.3.1 Matriz de expertos	70
5.3.2 Desarrollo de la propuesta de una estrategia técnico-ambiental de gestión hídrica para el municipio de Chocontá.	91
5.4 Determinación de la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta seleccionada.	107
5.4.1 Evaluación de la viabilidad técnica	108
5.4.2 Evaluación de la viabilidad ambiental	111
5.4.3 Evaluación de quinta hélice del humedal artificial para Chocontá	111
5.5 Estimación de los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta.	114
5.5.1 Financiamiento	117
6. CONCLUSIONES	118
7. RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Recorrido del Río Bogotá.	59
Figura 2. Mapa cuenca Alta del Río Bogotá.	60
Figura 3. Resultado pregunta dos (2) - Matriz de experto	76
Figura 4. Resultado pregunta cuatro (4) - Matriz de experto.	82
Figura 5. Estrategia de gestión hídrica para el municipio de Chocontá.	92
Figura 6. Requisitos para dar alcance a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.	95
Figura 7. Pasos clave para el desarrollo e implementación de la GIRH en Chocontá.	96
Figura 8. Planta Actual de Tratamiento de Aguas de Chocontá.	100
Figura 9. Propuesta de mejora para la PTAR en Chocontá.	103
Figura 10. Puntos de interés del proyecto	104
Figura 11. Miembros del Comité de Gestión del Agua.	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Crecimiento Económico y Poblacional.	14
Tabla 2. Distribución proyectada por sexo y edad de Chocontá.	21
Tabla 3. Servicios ecosistémicos y funciones en Chocontá.	22
Tabla 4. Producción de cultivos a nivel nacional.	26
Tabla 5. Participación del sector agrícola de Cundinamarca en el PIB nacional expresado en miles de millones de pesos.	28
Tabla 6. Criterios calidad admisibles del agua para uso agrícola según Decreto 1076 artículo 2.2.3.3.9.5.	43
Tabla 7. Ejemplo de matriz de ponderación de expertos.	55
Tabla 8. Índice de Calidad de Agua en el municipio de Chocontá.	62
Tabla 9. Caracterización Físico - Química río Bogotá - Chocontá	62
Tabla 10. Criterios calidad admisibles del agua para uso agrícola	64
Tabla 11. Criterios calidad para uso del agua en cultivos en el municipio de Chocontá – Puente de Telecom.	66
Tabla 12. Ponderación de expertos sobre los contaminantes presentes en el Río Bogotá según Decreto 1076 de 2015.	71
Tabla 13. Parámetros de mayor preocupación según expertos.	73
Tabla 14. Validación de respuestas de expertos.	74
Tabla 15. Estrategias técnico-ambientales para tener en cuenta por parte de los expertos.	77
Tabla 16. Ponderación según expertos para las estrategias técnico-ambientales propuestas en la encuesta.	79
Tabla 17. Ponderación de estrategias de más efectiva a menos efectiva.	81
Tabla 18. Desafíos técnicos y económicos para considerar según expertos.	82
Tabla 19. Ponderación de los desafíos técnicos y económicos según expertos.	86
Tabla 20. Desafíos técnicos y económicos valores promedio de los expertos.	86
Tabla 21. Sectores que deben involucrarse activamente en la implementación de la estrategia técnico-ambiental	87

Tabla 22. Funcionamiento PTAR - Chocontá	100
Tabla 23. Criterios calidad para uso del agua en cultivos aguas debajo de la PTAR del municipio de Chocontá.	102
Tabla 24. Actores clave para la estrategia de gestión hídrica	105
Tabla 25. Ecuaciones para la construcción del humedal artificial.	108
Tabla 26. Especies ideales para el humedal artificial	110
Tabla 27. Evaluación de la quinta hélice del humedal artificial para Chocontá.	112
Tabla 28. Costos estimados para el desarrollo de un humedal artificial.	114
Tabla 29. Otros posibles costos asociados a la propuesta.	116

RESUMEN

El agua es un recurso vital para la supervivencia de la vida, lo que ha llevado a que se explote constantemente este recurso y se use de diferentes maneras para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin prever las consecuencias de las generaciones futuras.

Este proyecto de investigación propondrá una estrategia técnico ambiental para la gestión hídrica de Cuenca Alta del Río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá, siendo este el segundo municipio por el cual pasa el río, con la intención de poder aprovechar este recurso en los procesos de agricultura que desarrolla esta zona.

Se realiza un diagnóstico de la gestión hídrica actual en la Cuenca Alta del Río Bogotá, para conocer la situación actual del recurso, seguido a esto, se seleccionó un punto de muestreo del agua en Chocontá, específicamente en el puente de Telecom, con la finalidad de conocer las características de entrada del recurso al municipio. Luego se establecieron los puntos críticos de los resultados obtenidos por pruebas de laboratorio realizadas por la Dirección de Laboratorios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y revisaron diferentes propuestas de gestión hídrica que den alcance a los requerimientos del Decreto 1076 de 2015.

Dando continuidad al proceso, se utilizó una matriz de expertos para poder analizar la viabilidad técnica y ambiental de la estrategia seleccionada teniendo en cuenta factores sociales y económicos de la misma, vinculando a diferentes actores involucrados en el proyecto que den alcance a la gestión hídrica adecuada del Río Bogotá en el municipio de Chocontá.

Finalmente, la propuesta se enfoca en el uso de un humedal artificial como estrategia de gestión hídrica, con el fin de poder eliminar los contaminantes del recurso, y poder hacer uso del agua del Río Bogotá en riegos de cultivo del municipio de Chocontá.

PALABRAS CLAVE: Gestión Hídrica, Humedal Artificial, Río Bogotá, Riego de Cultivos, Estrategia Hídrica.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la supervivencia de cualquier forma de vida, incluidos los seres humanos, es un recurso natural que puede encontrarse ampliamente distribuido por el planeta tierra. Se estima que el 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua, con un volumen de 1.39 billones de km³, donde el 97.5% es agua salada y 2.5% es agua dulce (Yang, 2022b). Durante el siglo XXI, la demanda del recurso hídrico ha venido y seguirá aumentado a nivel mundial, debido al rápido crecimiento poblacional y económico, que se ha dado a causa de la globalización de los recursos esenciales para la vida (Dalstein & Naqvi, 2022), así como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1.

Crecimiento Económico y Poblacional.

Criterio	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Producto				
Interno Bruto (Billones de USD)	1,465.98	5,982.83	0.63	72,049.55
Extracción de Agua (m³)	28,311.28	98,578.05	0.30	993,339.80
Crecimiento Poblacional (%)	69.91	95.84	-39.02	481.28

Nota: Modificado por el autor. Tomado de: Dalstein, F., & Naqvi, A. (2022). 21st Century water withdrawal decoupling: A pathway to a more water-wise world? *Water Resources and Economics*, 38. <https://doi.org/10.1016/J.WRE.2022.100197>

A finales del 2020, ocurrió un hecho no antes visto, en la bolsa de Nueva York empezó a cotizarse el agua, lo cual idealmente busca lograr un uso adecuado del recurso y una mayor regulación de precios del bien que cada vez es más escaso (Ortega-Ramírez & Triana-Moreno, 2021). Sin embargo, en una entrevista de la Deutsche Welle News, el relator especial para los derechos humanos al agua potable y al saneamiento

de Naciones Unidas Pedro Arrojo-Agudo, afirmó que el mercado entiende de negocios, mas no de los valores ambientales, puesto que estos no se pueden ver reflejados en dicho valor de bolsa, debido a que el mercado es una herramienta que no reconoce los valores vitales del agua (Alonso, 2020).

La realidad es que el mundo afronta una posible escasez de agua, por tal motivo existe la necesidad de buscar medidas que garanticen la seguridad del recurso hídrico a corto y mediano plazo, lo cual será un desafío clave para la sociedad del siglo XXI, teniendo en cuenta los riesgos generados por las actividades antrópicas dadas a la evolución del hombre, donde según Garrick & Hahn (2021) se destaca el acceso inadecuado al agua potable segura, las crecientes extracciones de agua, los impactos del cambio climático y las perturbaciones relacionadas con el clima, en otras palabras, si hay igualdad de condiciones, las disparidades frente a la exposición ambiental estarán asociadas en la salud y el bienestar económico de la sociedad (Chakraborti & Shimshack, 2022; Cohen et al., 2017).

El continente americano cuenta con el 38% de los recursos renovables de agua del mundo, donde Suramérica cuenta con las fuentes hídricas más diversas, puesto que tiene el río más largo del mundo (Río Amazonas) y el ecosistema más seco del mundo (Desierto de Atacama). Entre los países destacados del continente se encuentra Colombia, un país rico en fuentes hídricas, el cual ha usado durante años el agua como fuente de energía, además de contar también con cuatro (4) sistemas de drenaje principales: la cuenca del Pacífico, la cuenca del Caribe, la Cuenca del Orinoco y la Cuenca del Amazonas (Yang, 2022a). Sin embargo, al igual que sucede alrededor del mundo, Colombia se enfrenta a la contaminación del recurso hídrico, debido a que varias fuentes de agua del país se encuentran altamente contaminadas debido a la falta de tratamiento de aguas residuales y medidas de control de contaminación adecuadas (Banco Mundial, 2020; Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA Línea de Agua y Medio Ambiente, 2018).

Uno de los ríos fuertemente afectados por la contaminación en Colombia es el río Bogotá, el cual atraviesa la capital del país (Aretz, 2022; Corporación Autónoma Regional

de Cundinamarca (CAR), s/f; Manos Verdes, 2020), tal es la contaminación de este río que para el año 2014, la Corte Constitucional de Colombia emitió una sentencia histórica sobre la situación del río Bogotá (Consejo de Estado, 2014; ElTiempo, 2014). Esta sentencia establece que el río Bogotá tiene derechos, llegándolo a reconocer como un ente vivo el cual es merecedor de ser protegido, conservado, mantenido y restaurado. Además, esta sentencia obliga no solo a las autoridades sino también a la sociedad general a tomar medidas efectivas y comprometidas en pro de la protección y restauración del río Bogotá (Consejo de Estado, 2014).

A lo largo de este trabajo, se evalúa únicamente la cuenca Alta del río Bogotá, lo que vendrían siendo aproximadamente los primeros 170 kilómetros del mismo, partiendo desde su nacimiento en el Páramo de Guacheneque hasta el Puente La Virgen en Cota (Secretaría Distrital de Planeación, 2014). El recurso hídrico en este tramo suele verse afectado por: Actividades agropecuarias, minería y vertimientos de aguas residuales al cauce del río (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), s/f), generando una contaminación hídrica que pueda desembocar en problemas de salubridad pública, debido a que el agua del río es usada para los cultivos de productos agrícolas en municipios que se encuentran en la ronda hídrica del río Bogotá.

Por tal motivo, y teniendo en cuenta el impacto ambiental negativo que tiene hacer uso del agua contaminada en cultivos agrícolas (Díaz-Martínez & Granada-Torres, 2018; L. C. C. Ramírez et al., 2018), se buscara proponer una estrategia técnico ambiental de gestión hídrica a la altura del municipio de Chocontá, que permita llevar el agua a los parámetros hídricos ideales para el cultivo agrícola.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Proponer una estrategia técnico ambiental de gestión hídrica en la Cuenca Alta del Río Bogotá (Chocontá) para su aprovechamiento en riego de cultivos del municipio.

1.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá.
- Identificar los parámetros hídricos adecuados para el uso del agua en cultivos agrícolas en el municipio de Chocontá.
- Proponer una estrategia de gestión hídrica en la Cuenca Alta del Río Bogotá para el uso del agua en cultivos agrícolas en el municipio de Chocontá.
- Determinar la viabilidad técnica y ambiental de la estrategia de gestión hídrica seleccionada.
- Estimar los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde las últimas décadas, las crecientes presiones y sobreexplotación de los recursos hídricos han provocado un deterioro extremo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Entre los principales factores de contaminación de este recurso, se encuentran las actividades industriales y agrícolas, junto con la creciente demanda de los ciudadanos para satisfacer sus necesidades (Bocos et al., 2015; Díaz-Casallas et al., 2019).

Por tal motivo, monitorear la calidad del agua, se torna en una actividad fundamental para el manejo adecuado del recurso hídrico, debido a que detectar las tendencias en la calidad del agua, permite identificar los impactos negativos de los contaminantes, y así, generar estrategias que controlen, minimicen y mitiguen la contaminación ambiental presente en el recurso (Díaz-Casallas et al., 2019). En este sentido, monitorear no solamente nos medidas analíticas, si no también, una herramienta esencial que debe ser dispuesta a las autoridades ambientales y comunidades científicas, con el fin de generar estrategias eficientes para el manejo del recurso analizado (Burt et al., 2016).

Para el caso del río Bogotá, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), es la encargada semestralmente de hacer informes de monitoreo de la calidad del agua del recurso hídrico, esto se debe a que la Ley 99 de 1993 en el artículo 31 establece a la CAR, como máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción (Ley 99 de 1993, 1993), en este caso Cundinamarca por la ubicación del río.

La CAR cuenta con 86 puntos de monitoreo a lo largo de todo el Río Bogotá, en donde se evalúa Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos en Suspensión, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Conductividad Eléctrica, Relación Nitrógeno total / Fosforo total, pH y Coliformes Fecales, para así dar alcance al indicador de Calidad de Agua (ICA) del recurso hídrico. Estos puntos de monitoreo se subdividen según su ubicación y cuenca, con el fin de identificar los puntos críticos, que requieren nuevas estrategias de manejo hídrico (Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca - CAR, 2022).

Según el último informe que presenta la CAR sobre la calidad de agua del Río Bogotá, el cual pertenece al año 2021, para la cuenca alta del Río Bogotá, se cuenta con 37 puntos de monitoreo donde el ICA, presenta una tendencia a una calidad de agua mala. Para la cuenca media, la cual tiene 22 puntos de monitoreo la tendencia del ICA es mala, y por último, en la cuenca baja del Río Bogotá, se tiene una calidad de agua mala en la mayoría de los puntos monitoreados (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022).

El municipio de Chocontá – Cundinamarca, Colombia, es el segundo municipio que atraviesa el río Bogotá, y una de sus principales actividades económicas esta intrínsecamente ligada con el uso del agua del río Bogotá, puesto que este recurso es usado para riego de productos agrícolas, (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2018), sin embargo, debido a la contaminación que se evidencia en los informes de la CAR en el recurso hídrico, los cultivos suelen verse afectados por la gota, producida por el hongo *Phytophthora infestans*, donde se genera una enfermedad que afecta hoja, tallo y tubérculo llamado tizón tardío, además de pudrición seca y blanda de cultivos principalmente de tomate y papa (Acuña B & Torres M, 2000; CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2018; L. C. C. Ramírez et al., 2018).

Actualmente el municipio de Chocontá presenta una calidad de agua mala según los informes de ICA entregados por la CAR semestralmente, esto debido a que el punto de monitoreo a la entrada del municipio “Puente de Telecom”, presenta un promedio ICA de 0.49 dando una clasificación de mala calidad del agua, y los otros dos (2) puntos sobre la corriente principal mantienen dicha clasificación con un promedio ICA de 0.49 y 0.48 respectivamente (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022).

Teniendo en cuenta lo mencionado, se busca generar una estrategia hídrica para el municipio de Chocontá, la cual permita desarrollar economía en la zona, minimizando los riesgos asociados al uso de agua de mala calidad para el cultivo de productos agrícolas, fortaleciendo de esta forma el manejo ambiental adecuado del recurso hídrico

y dando alcance al fallo emitido por la Corte Constitucional de Colombia en relación con la problemática y social que afecta al Río Bogotá.

3. MARCO TEÓRICO

Para desarrollar el presente proyecto, se contextualizará el sector agrícola a nivel Colombia y luego en Chocontá, con la intención de comprender el impacto ambiental positivo que puede llegar a generarse debido a la gestión hídrica adecuada para el cultivo. Por tal motivo, se desarrolló una introducción, caracterización del sector, normatividad colombiana vigente, la descripción de los cultivos presentes en el municipio de Chocontá, los tipos de estrategia de gestión hídrica y los análisis multicriterio.

3.1 Caracterización del municipio de Chocontá.

El municipio de Chocontá se localiza en el departamento de Cundinamarca con una cercanía de 75 km de la capital del país y una elevación de 2,655 metros, brindando al municipio la posibilidad de extender su economía agrícola a distintas partes del país e incluso fuera de las barreras nacionales. Localizado en la parte nororiental de Cundinamarca, limitando con el departamento de Boyacá, hace parte de la región Sabana Norte junto con Suesca, Sesquilé. Guatavita, Mchetá, Manta, Tibirita y Villapinzón (Alcaldía Municipal de Chocontá en Cundinamarca, 2018). Turísticamente posee diversos destinos aledaños tales como la represa del Sisga, una de las principales reservas ecológicas del municipio que genera agua para Bogotá y el cerro del choque, el cual es un parque natural y ecológico (Alcaldía Municipal de Chocontá Cundinamarca, 2020).

En cuanto a la población del municipio de Chocontá según el censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y de acuerdo a las proyecciones de población para el 2024 hay un total de 24,929 chocontanos, donde su distribución proyectada por sexo y edad se encuentra consignado en la Tabla 2.

Tabla 2.

Distribución proyectada por sexo y edad de Chocontá.

Edades	Mujeres	Hombres	Total
Menos de 12 años	2,397	2,482	4,879

Tabla 2. (Continuación).

Edades	Mujeres	Hombres	Total
12 a 17 años	1,208	1,243	2,451
18 a 24 años	1,385	1,342	2,727
25 a 29 años	952	1,048	2,000
30 a 34 años	918	994	1,912
35 a 39 años	910	925	1,835
40 a 44 años	898	923	1,821
45 a 49 años	759	781	1,540
50 a 54 años	655	634	1,289
55 a 59 años	603	572	1,175
60 a 64 años	538	517	1,055
65 años o más	1,255	990	2,245
Total	12,478	12,451	24,929

Nota: Elaborado a partir de los datos públicos del DANE, los cuales pueden ser consultados en el siguiente enlace: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Por último, los servicios ecosistémicos presentes en el municipio de Chocontá, los cuales brindan beneficios que las comunidades humanas reciben a partir de las interacciones armónicas, proceso y funciones de los ecosistemas, en la Tabla 3 se presentan los principales servicios ecosistémicos y funciones de regulación en el municipio de Chocontá según un estudio realizado por Duque Gutiérrez & Montes del Olmo (2011).

Tabla 3.

Servicios ecosistémicos y funciones en Chocontá.

Servicio	Categoría de Servicio	Sub Categoría de Servicio	Función
Abastecimiento	Materiales	Áridos	Producción
		Suministro de Agua	Regulación

Tabla 3. (Continuación).

Servicio	Categoría de Servicio	Sub Categoría de Servicio	Función
Abastecimiento	Alimento	Agricultura	Producción
		Caza	Producción
		Ganadería	Producción
		Alimentos silvestres	Producción
		Combustible y energía	Producción
	Relacionado con el bosque.	Extractos naturales	Producción
		Madera	Producción
		Principios medicinales	Producción
	Relacionado con las plantas	Recursos ornamentales	Producción
		Uso tradicional	Producción
		Uso medicinal y cosmético de la fauna	Producción
		Uso ornamental	Producción
	Relacionado con los animales	Animales domésticos	Producción
		Espacio disponible	Información
	Soporte físico	Infraestructuras	Información
		Proyectos productivos	Información
Comunicación		Información	

Tabla 3. (Continuación).

Servicio	Categoría de Servicio	Sub Categoría de Servicio	Función
Cultural	Didáctico	Investigación científica	Información
		Conocimiento local	Información
		Educación	Información
Cultural	Disfrute	Recreación	Información
		Paisajismo	Información
		Patrimonio cultural	Información
Cultural	Identidad	Sentido de pertenencia	Información
		Espirituales	Información
		Formación de suelos	Regulación
Regulación	Ciclos	Polinización	Regulación
		Regulación climática	Regulación
		Regulación del aire	Regulación
		Regulación hidrológica	Regulación
		Retención de suelo	Regulación
		Prevención sp invasoras	Regulación
Regulación	Prevención	Prevención de plagas	Producción
		Protección tormentas	Regulación
		Amortiguar inundaciones	Regulación

Tabla 3. (Continuación).

Servicio	Categoría de Servicio	Sub Categoría de Servicio	Función
Regulación	Refugio	Mantenimiento de hábitat	Hábitat
		Mantenimiento red trófica	Hábitat
	Reproducción	Guardería	Hábitat
		Purificación del suelo	Regulación
	Sumidero	Tratamiento de residuos	Regulación
		Purificación del agua	Regulación

Nota: Elaborado a partir de Duque Gutiérrez, M., & Montes del Olmo, C. (2011). Los Servicios de los Ecosistemas de Chocontá: Un Ejercicio de Percepción con Sus Habitantes. *Nova*, 9(16), 170–176. <https://doi.org/10.22490/24629448.500>

3.2 Caracterización del sector agrícola en Colombia.

Colombia es un país privilegiado, contando con ecosistemas ricos en flora y fauna (Rico-Ramírez & Gómez-Caipa, 2021), además de terrenos extensos y pisos térmicos variados, que permiten cultivar diferente tipo de cultivos a lo largo y ancho del país (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2002; Perfetti et al., 2013). Para caracterizar el sector agrícola en Colombia, se hace uso de los datos reportados por el DANE en la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), la cual dispone las cifras anuales del sector agropecuario en 32 departamentos del territorio colombiano.

Según la encuesta mencionada anteriormente Colombia cuenta con trece (13) cultivos transitorios, cinco (5) cultivos permanentes y dieciocho (18) cultivos frutales (DANE, 2020), los cuales se presentan en la Tabla 4 con su respectiva cantidad producida en el primer trimestre del año 2019.

Tabla 4.*Producción de cultivos a nivel nacional.*

Cultivo	Tipo	Producción (Toneladas)
Papa total	Transitorio	1,654,284
Yuca	Transitorio	677,794
Maíz amarillo	Transitorio	448,928
Tomate	Transitorio	248,887
Cebolla rama	Transitorio	211,069
Maíz blanco	Transitorio	184,990
Cebolla bulbo	Transitorio	172,987
Zanahoria	Transitorio	126,280
Arveja	Transitorio	83,257
Fríjol	Transitorio	75,293
Algodón	Transitorio	28,874
Soya	Transitorio	27,545
Cebada	Transitorio	4,041
Caña de azúcar	Permanente	14,246,242
Plátano	Permanente	887,550
Caña para panela	Permanente	548,461
Café	Permanente	408,330
Cacao	Permanente	54,926
Banano	Frutales	1,260,712
Naranja	Frutales	283,815
Aguacate	Frutales	210,280
Limón	Frutales	161,177
Mango	Frutales	132,315
Guayaba	Frutales	102,877
Mandarina	Frutales	69,270
Mora	Frutales	56,503
Maracuyá	Frutales	46,438

Tabla 4. (Continuación).

Cultivo	Tipo	Producción (Toneladas)
Uva fresca	Frutales	32,060
Lulo	Frutales	35,537
Fresa	Frutales	26,443
Pera	Frutales	15,581
Durazno	Frutales	14,406
Freijoa	Frutales	9,290
Uchuva	Frutales	6,869
Pitahaya	Frutales	5,217
Manzana	Frutales	2,618

Nota. Construido a partir de DANE. (2020). *Boletín Técnico Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*.

Cómo se puede observar en la Tabla 4, Colombia cultiva 22,561,146 toneladas de productos agrícolas, donde 16,145,509 toneladas, lo cual equivale a un 71.56% proviene de cultivos permanentes, 3,944,229 toneladas, equivalente a 17.48% son cultivos transitorios y, por último. 2,741,408 toneladas, correspondientes al 10.95% es de cultivos frutales.

3.2.1 Participación en el Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia.

Según Boletín Técnico publicado por el DANE, referente al Producto Interno Bruto (PIB) del IV trimestre del 2022, informa que el PIB crece 7.5% en el año 2022 con respecto al año 2021, sin embargo, la actividad económica que hace referencia a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca hubo un decrecimiento de 1.9% para el último trimestre del pasado año. Ahora bien, teniendo en cuenta el PIB desde el enfoque de la producción la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca tuvo un aumento de 5.8% frente al 22.7% del aumento total a precio corriente en el año 2022 (DANE, 2023).

3.2.1.a Participación del sector agrícola de Cundinamarca para Colombia. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en los reportes por departamento del (PIB), Cundinamarca ha tenido un crecimiento económico considerable debido a la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, en los últimos

16 años manteniendo un valor de aporte que oscila entre el 11.9% a 13.3%, donde para el 2021 hubo un aporte del 12.4% al PIB del país (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2023; Ortega-Ramírez & Gómez Caipa, 2024). En la Tabla 5, se presentan los datos emitidos por el DANE desde el año 2005 al 2021 según el último reporte entregado por la entidad.

Tabla 5.

Participación del sector agrícola de Cundinamarca en el PIB nacional expresado en miles de millones de pesos.

ZONA	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
COL	337,958	381,604	428,506	476,554	501,574	544,060	619,023	666,507	714,093
CUND	19,546	21,387	24,214	27,379	29,327	31,676	35,465	38,214	40,742
ZONA	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
COL	762,903	804,692	863,782	920,471	987,791	1,060,068	997,742	1,192,586	
CUND	43,759	48,055	53,516	55,731	59,085	63,112	61,043	73,592	

Nota. Tomado de DANE (2023). Cuentas Nacionales Departamentales: PIB por departamento.

3.3 Sector Agrícola en Chocontá.

El principal producto que genera el municipio de Chocontá es el cultivo de papa, el cual ocupa 850 hectáreas, y se estima tiene un rendimiento entre 15 y 20 toneladas por hectárea. Sin embargo, también cuentan con cultivos de leguminosas, tales como la alverja con un rendimiento de cuatro toneladas por hectárea y el cultivo de haba con un rendimiento de 8 toneladas por hectárea. Por último, se destaca el cultivo de fresa realizado en el municipio, con un rendimiento de 28,000 toneladas por hectárea (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2018)

3.4 Normatividad.

A continuación, se presentan la normatividad general que engloba el presente trabajo de investigación.

- Resolución 1511 de 2017: Esta resolución establece los requisitos sanitarios para el uso y manejo de aguas en la producción primaria de alimentos de origen vegetal.

- Resolución 631 de 2015: Esta resolución establece 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.
- Decreto 1594 de 1984: Este decreto establece las normas para el uso y aprovechamiento del agua en el territorio colombiano, parcialmente derogada por el decreto 3930 de 2010.
- Resolución 2041 de 2003: Esta resolución establece los criterios y requisitos para la evaluación y manejo de los riesgos asociados al uso de aguas residuales tratadas en agricultura.
- Ley 99 de 1993: Esta ley establece las normas para la conservación, protección y recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.
- Decreto 1076 de 2015: Este decreto establece la regulación y gestión hídrica adecuada para aprovechamiento de agua en cultivos agrícolas.
- Resolución 1207 de 2014: Esta resolución establece las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
- Documento CONPES 3320: En el cual se establece la estrategia para el manejo ambiental del Río Bogotá.
- Sentencia del Río Bogotá del 2014: Documento de decisión histórica del Consejo de Estado de Colombia, en donde se declara al Río Bogotá como una entidad sujeta de derechos, reconociendo así su derecho a ser protegido, conservado, restaurado y promovido como un recurso vital para la vida y el bienestar de las personas.
- Constitución Política de Colombia (1991): Artículo 8. “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”.
- Resolución 1256 de 2021: Esta resolución reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones”

3.5 Caracterización del Río Bogotá

El Río Bogotá es un sistema hídrico que cruza 46 municipios a lo largo del territorio nacional desde su nacimiento en el Páramo de Guacheneque en el municipio de

Villapinzón hasta su desembocadura en el municipio de Girardot en el Río Magdalena, compuesto por ríos, quebradas, lagunas humedales y embalses, además de influenciar aproximadamente 589,455 hectáreas, en donde se destaca el desarrollo de actividades económicas asociadas a la producción agrícola, pecuaria e industrial (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2018).

El recorrido del río Bogotá se encuentra dividido en tres partes: Cuenca alta con un recorrido de 170 kilómetros, desde el Páramo de Guacheneque hasta la estación hidroeléctrica ubicada en el Puente la Virgen; Cuenca media que tiene una extensión de 90 kilómetros partiendo desde el Puente la Virgen hasta Compuertas Alicachín; y por último la cuenca baja con una extensión de 120 kilómetros, desde Puertas de Alicachín hasta su desembocadura en el río Magdalena a la altura del municipio de Girardot (Coorporación Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2018; Corporación Autónoma Regional, 2018; Secretaría Distrital de Planeación, 2014)

3.5.1 Caracterización del agua y estrés hídrico.

El agua es considerada como uno de los recursos naturales fundamentales para la supervivencia de los seres vivos (Ortega-Ramírez & Triana-Moreno, 2021), además es usada como materia prima en múltiples sectores industriales, demostrando que el agua, es también motor económico de la sociedad (Ortega-Ramírez & Gómez Caipa, 2024). En Colombia se evidencia un uso y consumo insostenible del recurso hídrico, impactando de manera negativa a los sistemas ambientales, sociales y económicos del país (Díaz-pulido et al., 2009).

Según el Estudio Nacional del Agua (ENA) desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 565 municipios han presentado en al menos una ocasión afectaciones en el servicio de acueducto, en donde Boyacá, Cundinamarca, Santander, Bolívar y Tolima, concentran la mayor cantidad de municipios susceptibles al desabastecimiento hídrico en temporada seca, mientras que en temporada de lluvia los departamentos susceptibles a desabastecimiento hídrico son Antioquia, Cauca, Huila, Cundinamarca y Norte de Santander (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2022).

Por tal motivo el presente estudio busca aportar al cuidado ambiental a la vez que aporta al desarrollo sostenible del municipio de Chocontá – Cundinamarca, Colombia, por medio de una estrategia de gestión hídrica, que permita realizar un proceso productivo agrícola eficiente sin afectar las necesidades de generaciones futuras en el acceso al agua.

3.5.2 Problemáticas ambientales, sociales y económicas

Las fuentes hídricas que tributan al río Bogotá en la zona del municipio de Chocontá, provienen de los ríos Sisga y Tejar, lo mismo que afluentes secundarios como son la Quebrada de Saucio, Aposentos, Piedra Negra, Guanuita, June y Turmal-Ratón, sin embargo, la calidad del agua se ve afectada debido al impacto por contaminación de curtiembres, puesto que a pesar de la existencia de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en operación desde 1997 para dicho proceso industrial, no es suficiente para tratar el volumen de contaminación que se genera (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca & Hidrovias S.A.S, s/f).

Por otro lado, el río Bogotá en algunas áreas existe una disminución de la cobertura vegetal para dar uso a esas tierras para otros fines (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, s/f), como también la presencia de residuos sólidos a lo largo y ancho del cauce el río, debido a la mala disposición de residuos sólidos por parte de industrias y comunidad presente en el área (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca & Hidrovias S.A.S, s/f).

Esto impacta negativamente a la economía del municipio puesto que sus actividades económicas hacen uso del agua que fluye por el cauce, además la salud pública puede llegar a verse afectada por los contaminantes presentes en el río, generan un aumento del gasto de salud, debido al posible aumento de tratamientos médicos (Organización Mundial de la Salud, 2022).

3.5.3 Beneficios del manejo adecuado del recurso hídrico.

El agua y los recursos hídricos constituyen a uno de los ejes fundamentales para la gestión orientada a satisfacer necesidades humanas, mejorar la salud de los

ecosistemas, además de permitir planificar y definir estrategias que garanticen condiciones óptimas de aprovechamiento energético, sin dejar de lado la protección y cuidado de la vida como pilar esencial de la sostenibilidad del territorio (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2022).

Para el caso del municipio de Chocontá – Cundinamarca, Colombia, donde la agricultura es una de las actividades económicas más fuerte de la zona (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2018; Perfetti et al., 2013), el agua es un bien esencial para cubrir las necesidades de alimentación y trabajo de la comunidad, para lo cual un manejo adecuado del recurso hídrico permitiría asegurar un suministro constante de agua para los cultivos, se evitaría la escasez del recurso y se mantendría la producción de alimentos con el fin de mantener una seguridad alimentaria (McCornick & Salzberg, 2020; The World Bank, 2022).

Lo mencionado permitirá al país seguir avanzando hacia un desarrollo sostenible, en donde se satisfagan las necesidades básicas que requieren del uso del agua, garantizando un crecimiento económico, bienestar social y cuidado por el ambiente, sin llegar a perjudicar las posibles necesidades de las generaciones futuras.

3.6 Gestión Hídrica.

El ciclo hidrológico es el proceso permanente de transformación y circulación del agua en la naturaleza, en donde los seres vivos participan activamente para satisfacer sus necesidades (Martínez García, 2020). Esto se evidencia en el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del año 2021 en donde se establece que el uso del agua ha mantenido un crecimiento del 1% anual en todo mundo desde los años ochenta, debido al crecimiento poblacional, el desarrollo socioeconómico y los modelos de consumo que rigen al planeta (UNESCO, 2021).

En ese orden de ideas, es importante establecer estrategias que permitan un adecuado uso del recurso hídrico, donde no se afecten las generaciones futuras al momento de requerir de este recurso, debido a que se estima que para el 2030 la diferencia entre la demanda prevista y el suministro de agua disponible en el mundo será del 40% (Banco Mundial, 2022).

En Colombia se tiene una demanda hídrica a nivel multisectorial de 32,331.9 millones de m³, la cual se redujo con respecto al año 2018 en 3,457.6 millones de m³, esto debido a cambios asociados al comportamiento del clima, distribución temporal y geográfica de la lluvia, o la pandemia por COVID – 19 que a su vez generó un confinamiento nacional, modificando así los patrones de consumo de agua (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2022).

Para el caso agrícola, los siete cultivos permanentes a nivel nacional consumen el 87% de la demanda hídrica asociada a esta actividad económica, y para el año 2040 en el departamento de Cundinamarca donde se encuentra ubicado el municipio de Chocontá, se estima que se duplicará la demanda hídrica actual (UNESCO, 2021), razón por la cual es importante proponer estrategias de gestión del agua para asegurar el abastecimiento y uso eficiente del recurso en el futuro.

3.6.1 *Gestión Integral del Recurso Hídrico.*

Desde la década de 1990 la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIHR) es uno de los principales paradigmas y ha sido fundamental en la gobernanza del agua (Challies & Newig, 2022), especialmente desde los principios establecidos por Dublin en 1992, que fue de los primeros intentos para reconocer el agua como un recurso finito con valor económico (Bilalova et al., 2023).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en Colombia define la GIRH como una estrategia que permite orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de uso del agua, por medio de una sinergia entre el desarrollo económico, social y ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-a). Sumado a esto, el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026, reafirma la importancia de reducir las perturbaciones ambientales en las cuencas hidrográficas, para así garantizar el cuidado de la riqueza natural y recuperar el paisaje (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

Para el planteamiento de la estrategia de gestión del recurso hídrico que se propuso en este trabajo deberá estar orientada en el desarrollo económico, social y ambiental donde exista un enfoque holístico que abarque la mayoría de los siguientes

aspectos: Calidad del agua, uso eficiente del recurso hídrico, monitoreo y seguimiento, participación ciudadana y cooperación interinstitucional, y cooperación internacional y financiamiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-a).

3.6.2 Estrategias técnico-ambientales seleccionadas por bibliografía a ser consultadas a los expertos.

Las presentes estrategias técnico-ambientales fueron recopiladas por medio de la búsqueda estipulada en la metodología del presente documento, dando como resultados cuatro (4) opciones a considerar para dar alcance a la apropiada gestión hídrica en el municipio de Chocontá. Estas cuatro (4) estrategias serán consultadas a los expertos por medio de la matriz, con el fin de conocer si son indicadas, si se requiere visibilizar algún otro tipo de estrategia o si deben ser usadas en conjunto para dar alcance a la gestión apropiada del agua.

3.6.2.a Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales. El aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales es un tema crucial para mejorar la gestión hídrica y reducir la contaminación ambiental. A nivel mundial el agua contaminada ocasiona aproximadamente 1.7 millones de muertes al año, en donde se estima que la mitad de dichas muertes son niños (Organización de las Naciones Unidas, 2019), sumado a eso, el Grupo Banco Mundial (2020) considera que el 80% del agua residual del mundo se vierte al entorno ambiental sin ningún tipo de tratamiento, sin embargo, podría recuperarse elementos tales como el agua limpia, energía y nutrientes.

Con el crecimiento poblacional la demanda de agua aumenta (Montaño Sanz, 2019), por ende, la cantidad de agua residual aumenta considerablemente por tal motivo, es importante expandir las plantas de tratamiento de aguas residuales para dar abasto a la necesidad de tratamiento de agua (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2018).

La importancia de esta estrategia está directamente relacionada en la capacidad de reducir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, así como prevenir posibles complicaciones de salud pública asociada al uso de agua contaminada en riego de cultivos y proteger los ecosistemas acuáticos.

3.6.2.b Restauración de áreas verdes y afluentes. La restauración de áreas verdes y cuerpos de agua es una estrategia que permite mejorar la calidad ambiental a la vez que promueve la biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-b). En términos generales esta estrategia incluye los procesos de reforestación, la limpieza de fuentes hídricas y la restauración de ecosistemas naturales.

La reforestación con especies vegetales nativas y/o autóctonas permite la estabilización de los suelos y evitan la erosión (Alvarado-García & Zúñiga-Amador, 2018), por otro lado, los humedales artificiales actúan como filtros naturales, mejorando la calidad del agua y descontaminación de metales pesados (Chafloque & Gómez, 2006; Delgadillo et al., 2010; Ortega-Ramírez et al., 2022; Seoanez Calvo & Gutiérrez de Ojesto, 1999), mientras que la limpieza de ríos y la eliminación de residuos sólidos y sedimentos contaminantes son esenciales para dar alcance a la restauración de los afluentes (Ollero Ojeda, 2015).

Según lo mencionado, esta estrategia permite la mejora de la biodiversidad, a la vez que se reduce la erosión del suelo y mejora la calidad del recurso hídrico, sumado a esto los espacios verdes proporcionan beneficios sociales y psicológicos, debido a que se generan espacios de recreación y bienestar para las comunidades (Guarda-Saavedra et al., 2022). Paralelamente la restauración de áreas verdes también contribuye a la mitigación del cambio climático, debido a que los árboles y plantas capturan el dióxido de carbono y regulan la temperatura (Grupo Banco Mundial, 2016).

3.6.2.c Tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua. La adopción de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua permiten garantizar el suministro de agua potable segura (Gonzalez, 2023), en donde a nivel global, las tecnologías como la osmosis inversa (Estevan & Sánchez-Colomer, 2007; Liu et al., 2022; Romero López et al., 2015; Soto Álvarez et al., 2013), la nanofiltración (Liu et al., 2022) y la desinfección por radiación (UV) (Acosta Castellanos et al., 2016; United States Environmental Protection Agency - EPA, 1999) están revolucionando el tratamiento de agua.

La importancia de estas tecnologías radica en la capacidad de proporcionar el recurso hídrico en una calidad adecuada, reduciendo el posible riesgo de enfermedades transmitidas por medio del agua en mal estado y mejorando la calidad de vida.

3.6.2.d Control más estricto de las descargas industriales. El control más estricto de las descargas industriales es un pilar fundamental para proteger los recursos hídricos y la salud pública (Martin & Bautiste Justo, 2015), por lo tanto, esto implica implementar un control considerable a las regulaciones ambientales existentes y mayor cantidad de sistemas de monitoreo para dar alcance al seguimiento adecuado de las descargas de contaminantes a los cuerpos de agua.

El monitoreo en tiempo real permite la detección rápida de descargas contaminantes y la toma de medidas correctivas rápidamente, para el caso puntual que se estudia en el presente documento, el Río Bogotá cuenta con múltiples puntos de monitoreo a lo largo de su cauce y afluentes, lo que permite conocer el estado actual del recurso hídrico durante su recorrido desde el nacimiento hasta desembocadura en el Río Magdalena (Cooperación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2018; CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022; Sanabria Suárez et al., 2017).

3.6.3 Desafíos técnicos y económicos seleccionados por bibliografía a ser consultadas a los expertos.

Las siguientes desafíos técnicos y económicos fueron seleccionados por medio de la búsqueda de información estipulada en la metodología del presente documento, dando como resultados cuatro (4) opciones que den alcance a la apropiada gestión del agua en el municipio de Chocontá. Estos cuatro (4) desafíos serán consultados a los expertos por medio de la matriz, con el fin de conocer si son adecuados, si se requiere tener presente otro tipo de desafío no contemplado, o si deben ser evaluados en conjunto para dar alcance a la gestión hídrica apropiada.

3.6.3.a Limitaciones presupuestarias. Las limitaciones presupuestarias se consideran como un desafío para la implementación de proyectos de tratamientos de aguas y restauración ambiental (Capote Pérez & Torres Páez, 2018). Por tal motivo, a

nivel internacional se han creado los denominados “bonos verdes”, los cuales han permitido el financiamiento de proyectos que generen beneficios financieros, sociales y ambientales, en miras de la creciente crisis ambiental que se presenta en el mundo (Hernández González et al., 2024).

Este desafío se aborda debido a la necesidad de asegurar una financiación adecuada y sostenible para proyectos ambientales, debido a que, sin el financiamiento necesario, las diferentes iniciativas propuestas para la mejora ambiental, puntualmente para este proyecto orientadas a la mejora de la calidad del agua, pueden quedar incompletas o ineficaces, generando un mayor perjuicio en términos de contaminación de los afluentes y riesgo de salud pública.

3.6.3.b Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta. La infraestructura obsoleta para dar abasto al tratamiento de aguas es un desafío técnico crítico debido a que influye directamente en la calidad del agua que se entrega después del proceso. A la fecha, existen múltiples tecnologías de tratamiento de agua emergentes, sin embargo, así mismo surgen diversos desafíos técnicos relacionados con la implementación y operación eficiente de estas tecnologías, debido a que en varias ocasiones son desarrolladas y evaluadas a escala laboratorio o en entornos controlados, lo cual, en un contexto no controlado puede revelar problemas inesperados (Cevallos Angulo, 2024).

3.6.3.c Contaminación industrial. La contaminación industrial puede considerarse como un desafío significativo, debido a que afecta la calidad del agua y los ecosistemas alrededor (Chauhan, 2023), esto debido a que usualmente las descargas contienen sustancias tóxicas que dañan la calidad del agua y suelos, generando un daño a la biodiversidad y un riesgo a la salud pública (Pabón et al., 2021).

La importancia de abordar las consecuencias de la contaminación industrial radica en la apremiante necesidad de proteger el recurso hídrico (Ortega-Ramírez & Triana-Moreno, 2021) de los efectos nocivos de los contaminantes descargados en los cuerpos de agua. Las regulaciones estrictas como el Decreto 1076 de 2015 y el monitoreo constante por la CAR son esenciales para reducir la carga contaminante, sin embargo, debe ser apoyado por la adopción de tecnologías limpias y prácticas de producción

sostenible para minimizar la generación de residuos, y por ende reducir la contaminación que se descarga a los ríos.

3.6.3.d Falta de cooperación entre entidades gubernamentales. La falta de cooperación entre entidades gubernamentales puede considerarse como un desafío significativo que obstaculiza la implementación efectiva de políticas y proyectos de carácter ambiental (Pérez Vásquez, 2020). Por lo tanto, es ideal evitar cualquier tipo de fragmentación de responsabilidades y la falta de coordinación entre las diferentes partes del gobierno, con la finalidad de evitar reprocesos, ineficiencia e incapacidad de manejo adecuado para abordar de forma integral los problemas ambientales.

La importancia de la cooperación intergubernamental radica en la necesidad de una gestión integrada y coherente de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente, además, una cooperación efectiva puede facilitar la implementación de proyectos de gran escala, captación de recursos financieros y el desarrollo de políticas y regulaciones coherentes (Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia, 2012).

3.7 Tipos de Análisis Multicriterio.

El análisis multicriterio es una herramienta que se utiliza para evaluar diversas soluciones a un problema determinado, teniendo en cuenta diferentes variables a la vez. En otras palabras, permite orientar la toma de decisiones con base a varios criterios comunes analizados (Unión Europea, 2014). Los tipos de análisis multicriterio se describen a continuación:

3.7.1 Modelo de utilidad multiatributo.

Los modelos multiatributo también conocidos como (MAUT), comprende la selección entre un conjunto de diferentes variables y/o criterios, a la vez que busca la optimización con varias funciones con objetivo simultáneas, siendo a su vez un agente decisor y procedimientos de evaluación racionales y consistentes (L. Ramírez, 2004)

3.7.2 Relaciones de superación y análisis jerárquico.

Este modelo busca soluciones a partir de un análisis jerárquico, busca soluciones de forma visual comparando a través de niveles a los cuales se les asigna un puntaje ponderando de esta forma las respuestas de cada experto, lo cual finalmente da alcance a la medición de cada criterio y/o variable analizada para así determinar la contribución de esta a la solución final.

3.7.3 Ponderación lineal.

La ponderación lineal es un enfoque común dentro de los métodos de análisis multicriterio que asigna un peso a cada uno de los criterios utilizados en la toma de decisiones. Estos pesos reflejan la importancia relativa de cada criterio en relación con los demás criterios analizados (Berumen & Llamazares Redondo, 2007).

3.7.4 Maximin y maximax.

Analiza los criterios con dos perspectivas diferentes, un escenario pesimista y un escenario optimista, en donde se toman los parámetros para el caso optimista los más altos y la solución es el más alto de estos valores seleccionados, mientras que para el escenario pesimista se toman los parámetros más bajos y la solución es acorde a dichos criterios (Peñaloza Palomeque, 2010).

3.7.5 Regime.

Este método se utiliza para evaluar alternativas de situaciones en las que se deben considerar varios criterios, los criterios se analizan de forma individual y se les asigna un peso en función de su importancia. Seguido a esto se evalúa cada alternativa en función de cada criterio y se multiplica el valor de la alternativa por el peso asignado del criterio correspondiente. Finalmente, se deben sumar los valores ponderados para cada alternativa y se selecciona la alternativa con el valor más alto como la mejor opción (Ortega Ramírez, 2019).

El análisis por el método multicriterio Regime se basa en dos tipos de entradas una matriz de entrada, que suele ser una tabla de información estructurada y unos criterios de peso previamente determinados, con base a lo mencionado se estructura una matriz de impacto cuyos elementos permitan medir el efecto de las alternativas

previamente ponderadas, debido a que los pesos permitirán medir la importancia de cada criterio de evaluación (Ron et al., 2001).

Por otro lado, el método de análisis Regime cuenta con una evaluación de concordancia en donde la idea es clasificar un conjunto de alternativas mediante sus comparaciones por pares expertos en relación con los criterios elegidos, para esto se establecen alternativas (i) y un conjunto de criterios (k), seguido a esto se comparan en relación con todos los criterios para así establecer cuál es la alternativa (i) que funciona mejor o igual a la alternativa (k), en donde dicho resultado sería el conjunto de concordancia (Lluís Carrasco & Jover, 2004; Ron et al., 2001), que daría paso a generar un ponderado entre las soluciones posibles del conjunto de concordancia para así seleccionar la mejor opción.

4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto se definieron las siguientes fases metodológicas, las cuales se detallan a continuación:

4.1 Fase 1: Diagnóstico de la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá

Para diagnosticar la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá se revisó información ambiental de la cuenca alta, la cual fue buscada por medio de búsqueda de información primaria y secundaria en motores de búsqueda como Science direct, Elsevier, Google Scholar y Researchgate, a las cuales se puede acceder a través de los servicios del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad de América, además de documentos institucionales de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Los tesauros utilizados en los motores de búsqueda fueron: Gestión Hídrica, Río Bogotá, Riego de Cultivos, Estrategia Hídrica y Contaminación Hídrica seguido a esto, se aplicó un filtro de tiempo para que el artículo más antiguo sea del año 2017, además se ajustaron de acuerdo con el tipo de gestión hídrica y contaminantes tratados DECRETO 1076, esto dio como resultado un total de 60 artículos de información actual, en donde se generaron tres líneas de información.

- Información general del río Bogotá.
- Gestión hídrica enfocada en el río Bogotá.
- Contaminación presente en el río Bogotá y su problemática asociada.

Es importante resaltar que la información reportada también enfatiza en: localización geográfica, aspectos ambientales, gestión del recurso hídrico, sus problemáticas y la caracterización geográfica de la zona.

4.2 Fase 2: Identificación de los parámetros hídricos para el uso de agua en cultivos.

Con la finalidad de identificar los parámetros hídricos presentes en el río Bogotá se hizo un análisis de la información dispuesta por la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental (DLIA) según radicado No. 20231080261 (Anexo 1), del municipio

de Chocontá, en donde se evalúan los parámetros que establece el Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.5 TRANSITORIO. Criterios de calidad para uso agrícola, los cuales son la normatividad vigente al momento de realizar este trabajo (Tabla 6). En esta sección se describen y analizan los parámetros hídricos para el uso de agua en cultivos según lo establecido en el decreto mencionado, con la intención de identificar los puntos críticos para dar cumplimiento legal de calidad de agua Río Bogotá, donde esta pueda ser usada como insumo de riego para la industria agrícola del municipio de Chocontá.

Tabla 6.

Criterios calidad admisibles del agua para uso agrícola según Decreto 1076 artículo 2.2.3.3.9.5.

Parámetro	Método de Análisis^a
Aluminio	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Arsénico	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Berilio	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Cadmio	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Cinc	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Cobalto	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Cobre	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Cromo	Digestión Ácido Nítrico, Espectroscopía de Masas / Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS), SM 3030 E, 3125 B.
Flúor	Cromatografía Ionica,EPA 300.1 Rev 1,0 Modificado.

Tabla 6. (Continuación).

Parámetro	Método de Análisis
Hierro	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosa US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Litio	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosa US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Manganeso	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosa US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.

Tabla 6. (Continuación).

Parámetro	Método de Análisis
Molibdeno	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Níquel	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
pH	Electrométrico (4500 H+- B)
Plomo	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Coliformes Totales	Ensayo de sustrato enzimático, SM 9223 B
Coliformes Fecales	Ensayo de sustrato enzimático, SM 9223 B

Tabla 6. (Continuación).

Parámetro	Método de Análisis
Selenio	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Vanadio	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.
Boro	Digestión Ácido Nítrico - Ácido Clorhídrico, Espectrometría de Absorción Atómica Llama Directa Aire – Acetileno, - SM 3030 F, 3111 B y/o Digestión Ácida Asistida por Microondas en Extractos y Muestras Acuosas US-EPA 3015A Rev. 1 de Febrero del 2007 - Espectrometría de Emisión Atómica Acoplada Plasma Inductiva. EPA 200.7 Rev. 4.4 1994.

Nota. Modificado por el autor, tomado de: Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015).

^a Los métodos de análisis son establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los cuales son adoptados por la CAR, para dar confiabilidad a los resultados obtenidos en laboratorio.

4.3 Fase 3: Propuesta de la estrategia de gestión hídrica para el uso de agua del Río Bogotá en el municipio de Chocontá.

Se realizó una revisión detallada sobre casos de éxito, acerca de estrategias de gestión hídrica, que cumplan con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 específicamente en el artículo 2.2.3.3.9.5, así como el proceso de tratamiento de aguas contaminadas por actividades agropecuarias y por la industria de curtiembres, lo cual permitió proponer una estrategia de gestión hídrica para el río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá.

La estrategia propuesta tiene en cuenta los resultados obtenidos mediante la información dispuesta por la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental (DLIA) de la CAR según radicado No. 20231080261 (Anexo 1), donde se identificaron las variables que superan el límite permisivo de la norma, y se seleccionó la estrategia de gestión hídrica que permitiría dar alcance al cumplimiento de los criterios del Decreto 1076 de 2015. Esta selección se hace con base a la información recopilada y presentada en el marco teórico del presente documento, así como también de una matriz ponderada construida a partir de la revisión bibliográfica y confrontada con once (11) expertos en el tema.

4.3.1 Matriz de expertos

La matriz de expertos es un método de validación ampliamente usado, el cual permite verificar la fiabilidad de una investigación (Robles Garrote & Del Carmen Rojas, 2015). Esta herramienta permite mediante consulta a varios expertos quienes, desde su conocimiento, experiencia y trayectoria puntual sobre un tema en concreto, de alcance al reconocimiento de aspectos relevantes e importantes del objeto de estudio y se logre la validación de los criterios estudiados (Barraza Macías, 2007).

4.3.1.a Estudio detallado. Fue el primer paso que permitió dar alcance a la elaboración de la matriz de expertos, la intención era desarrollar un estudio detallado de la gestión hídrica para el río Bogotá, a la altura del municipio de Chocontá, en donde se logró la comprensión de los aspectos relacionados con la contaminación del agua en esta zona de la cuenca. Seguido a esto, se definieron diferentes variables del problema

que puedan ser consultadas y solucionadas por mínimo los diez (10) expertos a ser encuestados por medio de un cuestionario en Google Forms.

4.3.1.b Elaboración de cuestionario. Se elabora un cuestionario orientado a responder las variables identificadas en el estudio detallado, por medio de preguntas claras y concretas, con una escala de valoración, cerradas y abiertas. El objetivo principal del cuestionario es recopilar información de primera mano, con la finalidad de poder establecer la estrategia técnico-ambiental adecuada para la zona de estudio¹.

4.3.1.c Selección de expertos. Se seleccionaron a once (11) expertos en el campo de la gestión ambiental y carreras afines, incluyendo profesionales con experiencia en la gestión de recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, monitoreo y legislación ambiental, además se priorizan aquellos profesionales que tengan posgrados afines a la temática estudiada o más de dos (2) años de experiencia en gestión hídrica.

De las invitaciones realizadas a los expertos, se logró la participación de once (11) expertos para diligenciar el formulario los cuales tienen los siguientes perfiles:

- “Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias de la Conservación y Manejo de los Recursos Naturales y Medio Ambiente, Doctor en Sostenibilidad. Investigador estatal en Durango. México. Líder en Biotecnología de los Recursos Naturales.”
- “Especialista en Gerencia Comercial e Ingeniero Químico, con experiencia técnica y comercial de 20 años, en el desarrollo y gestión de cuentas corporativas en geomercados a nivel Latinoamérica. Liderazgo de cuentas estratégicas, procesos de licitación, venta de productos químicos en el mercado petrolero, tratamiento de aguas y diferentes sectores industriales. Direccionamiento de equipos de trabajo interdisciplinarios para asegurar la ejecución de contratos y cuentas, a través de un estilo de trabajo enfocado en

¹ Para conocer el cuestionario aplicado a los expertos, mencionado en la sección **4.3.1.b Elaboración del Cuestionario**, lo podrá encontrar debidamente explicado en el **Anexo 2**, donde se encuentra la recopilación de las preguntas aplicadas.

la visión estratégica del negocio, el desarrollo de talentos y la orientación a resultados, optimizando las ventas, las ganancias y el posicionamiento de las marcas.”

- “Tecnóloga en química industrial y negociadora internacional, 10 años de experiencia en análisis fisicoquímicos y de cromatografía en matriz aguas.”
- “Ingeniero Ambiental y Sanitario, Magíster en Gerencia Ambiental del cuál obtuve grado Cum Laude y especialista en Ambiente y Desarrollo. Soy un profesional con conocimiento y 15 años de experiencia en temas de sostenibilidad, gestión ambiental, política pública y dirección de proyectos. Adicionalmente, me desempeñé en el sector educativo como director de unidades académicas y docente universitario. Experiencia en el sector público y privado, sostenibilidad, sector educativo, gestión ambiental organizacional, dirección de proyectos ambientales, gestión del recurso hídrico, gestión de residuos sólidos, gestión de residuos peligrosos, gestión de residuos de construcción y demolición, gestión ambiental en obra civil, proyectos de tratamiento de agua residual, planes de manejo y saneamiento de vertimientos, ordenamiento territorial y trámite de permisos ambientales.”
- “Ingeniería Química, Gerencia de mercadeo y ventas, MBA, Experiencia en aguas 16 años.”
- “Ingeniero químico, especialista en gestión de residuos, magister en formulación y tecnología del producto y estudiante de doctorado en proyectos. Experiencia en cuanto a tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales con microalgas.”
- “Ingeniera Ambiental, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Estudiante de Doctorado en Ingeniería. Docente con experiencia de 10 años, en temas relacionados con gestión del recurso hídrico.”
- “Ingeniera Química, especialista en ingeniería sanitaria y Ambiental, magister en ingeniería- énfasis en ingeniería química. 3 años en tratamiento de aguas en plantas de potabilización, coagulación y floculación. Trabajo de grado de maestría en tratamiento fisicoquímico de vinazas.”

- “Environmental and Sanitary Engineer, with a Master in Process Design and Management and Internal Auditor QHSE. I have experience in academy and private sector: water treatment (drinking, industrial and, waste), solid waste management and valorization processes, formulation and implementation of environmental management systems (ISO14001), environmental permits and manufacturing industry, monitoring the performance of organizations regarding their management systems OHSAS (ISO18001), Quality (ISO9001) and Good Manufacturing Practices.”
- “Ingeniero Industrial, Especialista en Administración y Gerencia de Sistemas de Calidad. Gerente de Empresa General de Aguas S.A.S. Fabricantes de Polímeros Inorgánicos para tratamiento de aguas durante 12 años.”
- “Ingeniero Químico, con experiencia de 12 años en temas de calidad del agua desempeñándome en el cargo de ingeniero supernumerario para dar soluciones a la industria.”

4.3.1.d Ponderación de matriz. Considerando el perfil de los expertos consultados y la cercanía en experiencia en el tema, para este trabajo se pondero por igual las respuestas obtenidas por cada uno de ellos.

4.3.1.e Aplicación del instrumento. El instrumento implementado se hizo bajo un formulario de Google Forms, para luego recopilar la información que conduce al análisis de las respuestas dadas por los expertos consultados, todo esto con la finalidad de identificar la estrategia técnico ambiental adecuada para el problema identificado en el Río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá (Anexo 2).

4.3.1.f Recopilación y análisis de información. La herramienta de Google Forms permite exportar las respuestas obtenidas por los expertos consultados a un archivo Excel, para de esta forma poder realizar el respectivo análisis de datos de priorización y tabulación de información recolectada.

4.3.2 Sesgo del instrumento

Es importante determinar los posibles sesgos que se pueden presentar en una investigación, específicamente por los instrumentos utilizados para la captura de

información y su respectivo procesamiento (Manterola & Otzen, 2015). Para este proyecto en concreto se pueden encontrar sesgos por conflicto de intereses, de expertos y de conservación.

4.3.2.a Sesgo de conflicto de intereses. Se refiere a una situación donde el juicio de una persona está indebidamente influenciado por sus intereses personales o económicos, dando como resultado la alteración total o parcial de sus acciones y decisiones (Caballero et al., 2008).

4.3.2.b Sesgo de experto. Se refiere a la tendencia de los expertos en un campo particular a desarrollar suposiciones, creencias o juicios sesgados basados en su conocimiento profundo y experiencia en ese campo. Esto puede deberse debido a que a medida que los expertos adquieren experiencia y dominio en un área determinada, es natural que desarrollen un conjunto de suposiciones que pueden influir en su forma de pensar y tomar decisiones (Abels et al., 2023).

Este sesgo puede manifestarse de varias maneras. Por ejemplo, los expertos pueden tener dificultades para considerar ideas o perspectivas que están fuera de su dominio de conocimiento, descartando automáticamente cualquier información que no se ajuste a su experticia, como también, pueden subestimar la importancia de factores o datos que no son parte de su área de especialización, lo que puede llevar a un análisis sesgado de una situación.

4.3.2.c Sesgo de conservación. Este sesgo se refiere a cuando una persona tiende a mantener su experticia o posición inicial, incluso cuando se le presentan pruebas o evidencias que contradicen esa creencia. Se refiere a la tendencia de las personas a conservar sus ideas preexistentes y a evitar cambiar de opinión, incluso cuando se enfrentan a información que desafía esas creencias (Fernández, 2017). Frente a este sesgo es importante entender que el experto puede tender a buscar y favorecer la información que confirma la experticia de este.

4.4 Fase 4: Determinación de la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta seleccionada.

Para determinar la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta se realizó un análisis multicriterio con la finalidad de poder evaluar las diversas posibles soluciones al problema planteado en la matriz de expertos descrita en la sección anterior. Esta metodología interdisciplinaria permite la toma de decisiones teniendo en cuenta múltiples objetivos y/o criterios que buscan cubrirse simultáneamente. En esta sección se tiene en cuenta las variables de sostenibilidad ambiental y técnica que se verían impactadas directa o indirectamente por realizar una gestión hídrica adecuada según los resultados de los once (11) expertos consultados.

4.4.1 Método de análisis multicriterio para la matriz de expertos.

Para el presente trabajo de investigación se hace uso del método de análisis multicriterio Regime, el cual se caracteriza por ser un método discreto de análisis cualitativo para la toma de decisiones en situaciones donde se deben considerar múltiples criterios (Ortega Ramírez, 2019; Ortega-Ramírez et al., 2022). Así mismo, este método se basa en una comparación de respuestas por expertos frente a diferentes elecciones para encontrar la mejor opción disponible según el peso de las respuestas obtenidas (La Paiz & López-Lambas, 2010; Ortega Ramírez, 2019; Oztaysi et al., 2021).

La matriz de expertos que fue diligenciada por once (11) profesionales, cuyos perfiles son similares según el filtro realizado y explicado en la sección 4.3.1.c, por tal motivo, durante la evaluación de las diferentes respuestas de selección múltiple en la matriz se realizó un promedio entre los resultados dados por cada experto en los parámetros propuestos en la encuesta, con la finalidad de que el mismo experto sea el encargado de dar el peso que considere pertinente al parámetro evaluado, y evitar así el sesgo de conflicto de intereses del investigador, debido al conocimiento previamente adquirido durante el diagnóstico de la gestión hídrica en la Cuenca Alta del Río Bogotá. Una vez realizado el promedio, el resultado será el peso asignado a cada variable como se muestra y desarrolla en la sección 5.2 y 5.3 del presente documento.

4.4.2 Descripción del instrumento utilizado.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se hará uso de una matriz de expertos, en el cual se puedan jerarquizar las diferentes respuestas obtenidas por los expertos seleccionados, para lo cual, el modelo de Regime es utilizado para dar alcance a las necesidades que tiene este proyecto.

4.4.2.a Cuestionario – Matriz de Expertos. Se realizó la matriz de expertos por medio de un cuestionario por medio de Google Forms donde se toman en cuenta las opiniones de conocedores sobre gestión hídrica con énfasis en estrategias técnico-ambientales, con el propósito de tener el contexto claro y tener una visión sobre las diferentes estrategias o casos de éxito que se han aplicado en ríos contaminados.

El cuestionario presentado en el Anexo 2 inicialmente presenta una descripción de los contaminantes encontrados en el río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá y las metas que se tienen conforme al uso del recurso hídrico en los cultivos agrícolas del municipio. Por tal motivo, se le solicita a mínimo diez (10) expertos que respondan de manera objetiva el instrumento el cual consiste en seis (6) preguntas relacionadas al tema, tres (3) cerradas y tres (3) abierta que se describen a continuación:

- “De los contaminantes expuestos en la imagen pondere del uno (1) al diez (10) siendo uno (1) el contaminante menos preocupante y diez (10) el contaminante más preocupante en términos de impacto ambiental y posibles complicaciones de salud pública presente en el río Bogotá (puede repetir los valores).”

- “Las siguientes estrategias técnicas-ambientales propuestas a continuación, serán tenidas en cuenta, con la finalidad para reducir los contaminantes en el río Bogotá: Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá, Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua, Control más estricto de las descargas industriales. ¿Considera que hay otra u otras estrategias técnicas-

ambientales deben tenerse en cuenta para este trabajo? (Si la respuesta es negativa favor responder No Aplica)”

- “Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a las estrategias técnicas-ambientales expuestas, siendo uno (1) la que considere menos efectiva y cinco (5) la que considere más efectiva (puede repetir la valorización).

- A. Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales.
- B. Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá.
- C. Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua.
- D. Control más estricto de las descargas industriales.
- E. Otra (por favor, especifique): _____”

- “Los siguientes desafíos técnicos y económicos serán considerados para la gestión hídrica del río Bogotá: Limitaciones presupuestarias, Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta, Contaminación industrial, Falta de cooperación entre entidades gubernamentales. ¿Considera que haya otro u otros desafíos técnicos y económicos a considerar? (Si la respuesta es negativa, favor responder No Aplica).”

- “Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a los desafíos técnicos y económicos, siendo uno (1) el que considere el menos apremiante y cinco (5) el que considere el más apremiante (puede repetir la valorización).

- A. Limitaciones presupuestarias.
- B. Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta.
- C. Contaminación industrial.
- D. Falta de cooperación entre entidades gubernamentales.
- E. Otra (por favor, especifique): _____”

- “Considerando la importancia de la participación de múltiples partes interesadas en la gestión hídrica, ¿qué actores o sectores deberían involucrarse activamente en la implementación de las estrategias técnico-ambientales mencionadas o propuestas en este formulario? ¿Por qué?”

4.4.2.b Matriz de ponderación de expertos. A continuación, en la Tabla 7 se presenta un ejemplo condensado en una tabla de cómo se verían las respuestas de varios expertos en cuanto a las preguntas cerradas y las preguntas abiertas condensadas en el anexo 2.

Tabla 7.

Ejemplo de matriz de ponderación de expertos.

Expertos	Contaminante de Mayor Preocupación ^a	Estrategia Técnico-Ambiental Efectiva ^b	Desafíos Técnicos y Económicos ^d	Actores Involucrados ^e
Experto 1	Contaminante A – 10	A) 2 B) 5 C) 4 D) 3	A) 2 B) 3 C) 5 D) 4	Institución A – Institución B
	Contaminante B - 8	E) ^c	E)	
Experto 2	Contaminante A – 9	A) 2 B) 1 C) 4 D) 5	A) 2 B) 3 C) 5 D) 4	Institución A – Institución C
	Contaminante B - 8	E) 3	E) 1	

Nota. Ejemplo de posibles respuestas por parte de los expertos invitados al estudio.

^a Pregunta relacionada a los contaminantes presentes en el Río Bogotá, para que los expertos ponderen la severidad del contaminante de mayor a menor y asignen el valor correspondiente para priorizar los resultados. El listado presentado a los expertos contiene los 21 contaminantes que deben cumplirse para el uso del recurso hídrico en riego de cultivos.

^b Pregunta orientada a la ponderación según conocimiento del experto acerca de que estrategia técnico-ambiental es mejor que otra, las opciones son: Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá, Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua, Control más estricto de las descargas industriales.

^c Esta opción permite que pondere la estrategia que el experto sugirió en una de las preguntas abiertas anteriores.

^d Pregunta orientada a la ponderación según conocimiento del experto acerca de que desafíos técnicos y económicos son más cruciales que otros, las opciones son: Limitaciones presupuestarias, Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta, Contaminación industrial, Falta de cooperación entre entidades gubernamentales

^e Los expertos pueden mencionar abiertamente en algunas preguntas su opinión al respecto de forma libre, para la pregunta asociada a la tabla se refiere a ¿qué actores o sectores deberían involucrarse activamente en la implementación de las estrategias técnico-ambientales mencionadas o propuestas en este formulario?

Para el ejemplo presentado en la Tabla 7, la información daría como resultado que el contaminante dos tiene el mismo peso para ambos expertos, la estrategia técnico-ambiental adecuada sería la D, debido a que al momento de hacer la ponderación daría cuatro (4), mientras que la B daría tres (3), los desafíos técnicos y económicos sería la opción C y los actores involucrados clave sería la institución A.

4.4.3 Variables de sostenibilidad ambiental orientadas a la adecuada gestión hídrica en riego de cultivos.

Según los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los expertos se presenta la información de la matriz de expertos por medio de diferentes tablas de información a lo largo del capítulo cinco (5) del presente documento, realizando una descripción detallada de cada una de las variables que representan mayor grado de importancia, entre las cuales se encontraron: Participación de múltiples partes interesadas, cumplimiento normativo y regulaciones ambientales y uso eficiente del recurso hídrico.

4.4.4 Estrategia para la gestión hídrica del río Bogotá para riego de cultivos en el municipio de Chocontá.

De acuerdo con el análisis de información obtenida de la matriz de expertos se desarrolla una propuesta de gestión hídrica para riego de cultivos en el municipio de Chocontá, la cual, de alcance a un desarrollo sostenible por medio del cuidado ambiental del recurso hídrico, el beneficio social para la comunidad aledaña al Río Bogotá y el respectivo beneficio económico de las actividades antrópicas realizadas con este recurso.

4.5 Fase 5: Estimación de los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta.

Para la adecuada estimación de los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta, se establece por medio de múltiples referencias que aproximan los costos asociados a la prefactibilidad de la estrategia de gestión hídrica, estableciendo de esta manera los costos directos (Estudios preliminares y diseño, Excavación y preparación del terreno, Revestimientos impermeables, Vegetación, Equipos de monitoreo, Mantenimiento, Monitoreo continuo) e indirectos (Gestión comunitaria, Programas de capacitación, Construcción de estructuras auxiliares), capital humano involucrado (Trabajadores involucrados en el proyecto), infraestructura y tecnología requerida para dar alcance a la estrategia bajo proyectos o casos donde se haya realizado un proyecto similar, con la intención de poder evidenciar el capital económico necesario que de alcance a la estrategia técnica y ambiental propuesta.

5. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Este capítulo se desarrollará de acuerdo con lo establecido en la metodología y los objetivos del proyecto explicados con anterioridad en sus respectivas secciones anteriores del presente documento.

5.1 Diagnóstico de la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá con énfasis en Chocontá.

Esta sección hace referencia a la descripción de las generalidades de la Cuenca Alta del Río Bogotá, la cual es la zona de estudio del presente proyecto, abarcando desde el Páramo de Guacheneque, donde nace el río Bogotá hasta el Puente La Virgen ubicado en el municipio de Cota – Cundinamarca (Secretaría Distrital de Planeación, 2014).

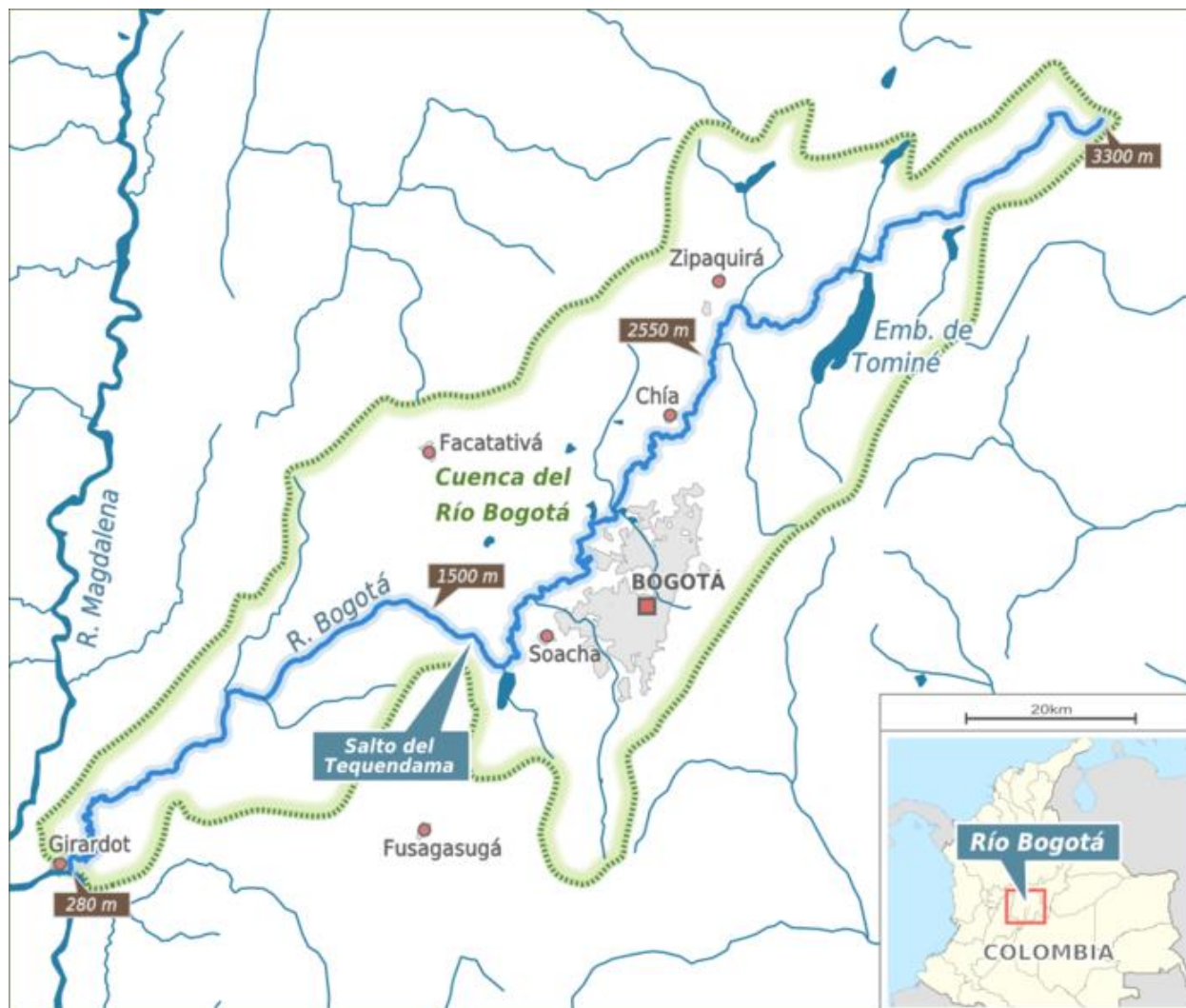
5.1.1 Localización geográfica de la Cuenca Alta del Río Bogotá.

El Río Bogotá se encuentra ubicado en Colombia, exactamente en el altiplano cundiboyacense, teniendo un recorrido de noreste a sureste a través del departamento de Cundinamarca. Nace en el páramo de Guacheneque al nororiente del municipio de Villapinzón y desemboca a la altura del municipio de Girardot en el río Magdalena (Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá, 2017), después de atravesar 46 municipios a lo largo de su recorrido (Corporación Autónoma Regional, 2018).

Las aguas del río Bogotá recorren 380 kilómetros, el cual se divide en tres (3) cuencas: la cuenca alta, que comprende aproximadamente los primeros 170 kilómetros desde el páramo de Guacheneque hasta el Puente La Virgen Cota, seguido a esta ubicación se encuentra la cuenca media, la cual abarca desde Cota hasta el Salto del Tequendama, teniendo una longitud aproximada de 90 kilómetros, en donde el río Bogotá es alimentado por los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo; finalmente se encuentra la cuenca baja, con una longitud de 120 kilómetros aproximadamente, desde el Salto del Tequendama hasta el municipio de Girardot donde desemboca en el río Magdalena (Secretaría Distrital de Planeación, 2014), como se ve en la Figura 1.

Figura 1.

Recorrido del Río Bogotá.



Nota. Tomado de: SRTM3 USGS (2004), Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second, Filled Finished, University of Maryland (Global Land Cover Facility, www.landcover.org)

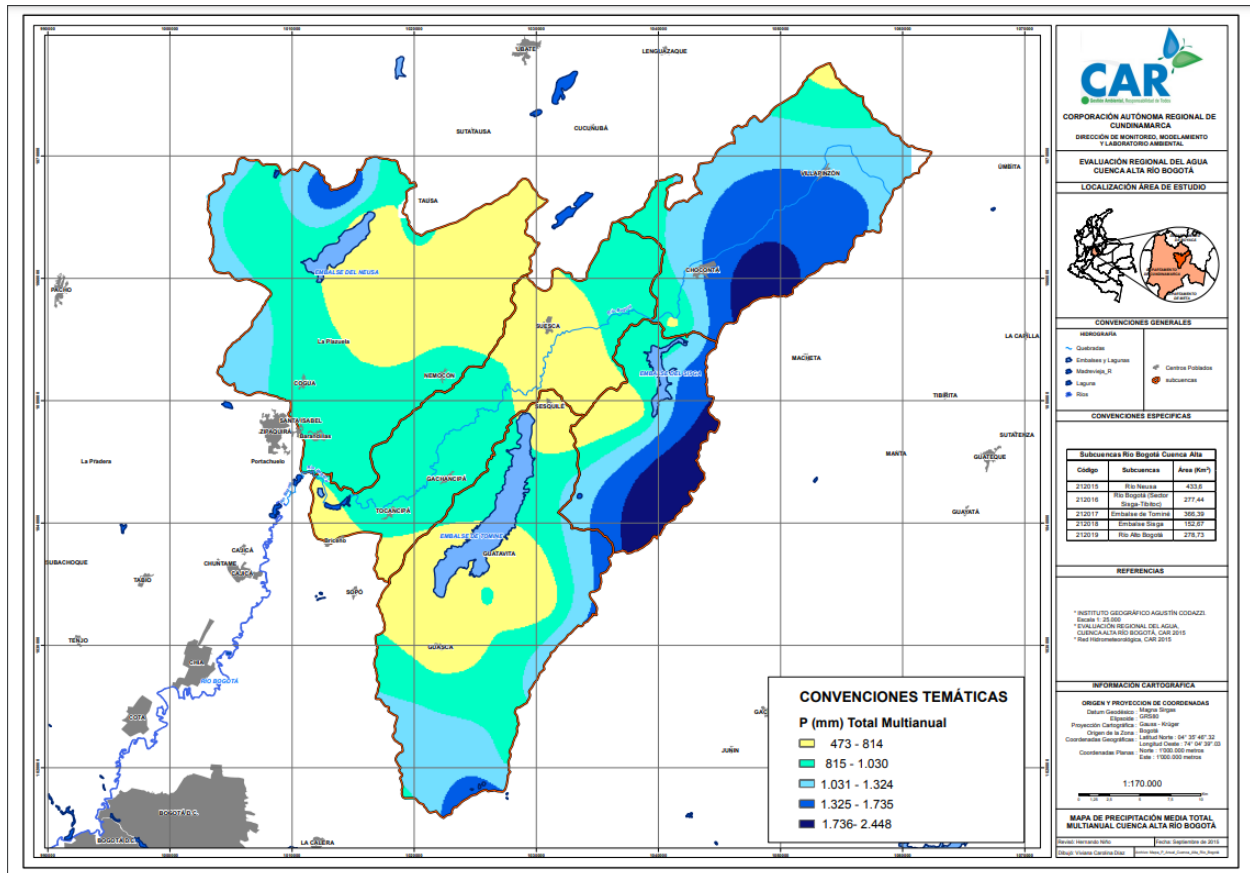
5.1.2 Municipios pertenecientes a la Cuenca Alta del Río Bogotá.

Según lo estipulado por el Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Bogotá (Cooperación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2018), la Cuenca Alta del Río Bogotá cuenta con 21 municipios los cuales se nombran a continuación: Cajicá, Chía, Chocontá, Cogua, Cota, Cucunubá, Gachancipá, Guasca, Guatavita, La Calera, Nemocón, Sesquilé, Sopó, Subachoque, Suesca, Tabio, Tausa,

Tenjo, Tocancipá, Villapinzón y Zipaquirá. En la Figura 2 se presenta la totalidad de municipios de la cuenca alta por los cuales pasa el cauce del río.

Figura 2.

Mapa cuenca Alta del Río Bogotá.



Nota. Tomado de: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2015). Evaluación Regional del Agua Cuenca Alta Río Bogotá.

5.1.3 Problema ambiental en la Cuenca Alta del Río Bogotá.

En la Cuenca Alta del Río Bogotá se presentan problemas que han llevado a la contaminación del recurso hídrico, muy cerca de su nacimiento, en el Páramo del Guacheneque. Por citar algunos ejemplos, hay vertimientos industriales de curtiembres en el municipio de Villapinzón, el cual se encuentra ubicado a 5 kilómetros del nacimiento del río Bogotá (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), s/f), y también se encuentra la falta de optimización de las plantas de tratamiento de aguas residuales

en el municipio de Chocontá (Cooperación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2018).

Los contaminantes más comunes encontrados en las aguas de la Cuenca Alta del Río Bogotá son de carácter orgánico destacando los metales pesados debido a los lixiviados de vertederos y lodos bentónicos (Pinzón Uribe & Sotelo Rojas, 2020), residuos de curtiembres, de procesos de agricultura y floricultura que usan pesticidas y fertilizantes químicos (Gallini et al., 2018) y nutrientes que pueden llegar a afectar la calidad del agua para futuros procesos que requieran su uso (Milena Díaz-Casallas et al., 2019).

5.1.4 Gestión del Recurso Hídrico.

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), hace el seguimiento, mantenimiento y recuperación del río Bogotá, y cuenta con 42 puntos de monitoreo para determinar el Índice de Calidad de Agua (ICA) en la cuenca alta del río entre corriente principal y afluentes, donde para el 2021 se indica que para el primer semestre siete (7) puntos se encuentran en un rango aceptable, once (11) en regular, dieciocho (18) en mala y uno (1) en muy mala, mientras que para el segundo semestre el ICA se distribuyó de la siguiente manera: seis (6) puntos en calidad aceptable, trece (13) en regular, diecisiete (17) en mala y uno (1) en muy mala (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022).

Puntualmente para el municipio de Chocontá, según los informes presentados por la CAR entre los años 2017 y 2021, los ocho (8) puntos de monitoreo que tiene la zona divididos en cuatro (4) puntos ubicados en la corriente principal y cuatro (4) en afluentes secundarios. En la corriente principal se reporta una calidad de agua mala en tres (3) puntos y regular en el punto restante (Ortega-Ramírez & Gómez Caipa, 2024). En la Tabla 8 se presentan los resultados según los informes de la CAR teniendo en cuenta no solo la corriente principal sino también los afluentes reportados.

Tabla 8.*Índice de Calidad de Agua en el municipio de Chocontá.*

Punto de Monitoreo	Tipo de Fuente	Promedio de ICA	Clasificación
Estación Chingacio.	Principal	0,59	Regular
Agregados Chocontá.	Afluente	Sin datos	No Aplica
Río Tejar.	Afluente	0,79	Aceptable
Puente vía Telecom.	Principal	0,49	Mala
Descarga municipio de Chocontá.	Afluente	Sin datos	No aplica
Aguas Abajo municipio de Chocontá.	Principal	0,49	Mala
Estación LG Saucio	Principal	0,48	Mala
Descarga embalse del Sisga	Afluente	0,79	Aceptable

Nota. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR. (2022). *BOLETIN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - ICA 2021.* 1-142. <https://www.car.gov.co/uploads/blog/Ny82KWMTeM.jpeg>

Según un estudio realizado en el municipio de Chocontá, hay resultados alarmantes en cuanto a la presencia de patógenos en el río Bogotá (Tabla 9), en donde el agua es usada para riego de los diferentes productos agrícolas que se dan en la zona, lo cual da como resultado que varios de los cultivos presentes en el municipio tienen un riesgo latente para la salud pública, debido a las características propias de calidad microbiológica del agua, dando como resultado una migración de patógenos hasta el consumidor final (Silva Marrufo et al., 2023).

Tabla 9.*Caracterización Físico - Química río Bogotá - Chocontá*

Parámetro	Valor Obtenido NMP/100mL	Cumplimiento Decreto 1076 de 2015
Coliformes totales	1793	No
Escherichia colí	183	No

Tabla 9. (Continuación).

Parámetro	Valor Obtenido NMP/100mL	Cumplimiento Decreto 1076 de 2015
Pseudomona aeruginosa	1414	No
Sulfatos	1.575 mg/L	No
Cloruros	0.259 mg/L	No
Cromo	0.177 mg/L	No
Nitritos	0.2 mg/L	Sí
Nitratos	10 mg/L	Sí
Manganeso	<0.100 mg/L	Sí
Hierro	<0.100 mg/L	Sí
Cadmio	<0.100 mg/L	No

Nota. Tabla adaptada por el autor de acuerdo a los datos obtenidos de: Silva Marrufo, O., Rodríguez Gamíz, K. N., Ortega Ramírez, A. T., & Morales Fonseca, D. M. (2023). *Caracterización físico-química del agua de riego para los procesos de biofortificación en cultivos de frijol. Caso Chocontá - Colombia.* 1–4.

Es por esto que incluir una adecuada gestión de recurso hídrico daría paso a cumplir con la Sentencia emitida por el Consejo Superior frente a la problemática ambiental que tiene el río Bogotá, puesto que permitiría planificar, organizar, dirigir y controlar el uso del agua para satisfacer una necesidad humana y garantizar la sostenibilidad del recurso (Banco Mundial, 2022; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-a), además de asegurar los parámetros establecidos en el Decreto 1076 de 2015, el cual dicta los parámetros de calidad del agua para uso agrícola y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

Por todo lo anterior, el presente proyecto busca proponer una estrategia técnico ambiental de gestión hídrica para la Cuenca Alta del Río Bogotá, direccionado principalmente al uso agrícola para el cultivo de papa y de ser factible extrapolarlo a otro tipo de cultivos donde se cumplan los parámetros hídricos requeridos.

5.2 Identificación de parámetros hídricos para uso de agua en cultivos.

En esta sección se identifican los parámetros hídricos para el uso de agua en cultivos, según lo establecido por la normatividad colombiana.

5.2.1 Parámetros de agua según el Decreto 1076 de 2015.

Para dar alcance a lo planteado en los objetivos del presente proyecto, es importante conocer y caracterizar las condiciones del recurso hídrico presente en el municipio de Chocontá, por tal motivo se solicitó a la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental (DLIA) de la CAR que suministrara el histórico de criterios admisibles del agua para uso agrícola según los parámetros establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en el artículo 2.2.3.3.9.5 TRANSITORIO. Criterios de calidad para uso agrícola (Tabla 10).

Tabla 10.

Criterios calidad admisibles del agua para uso agrícola

Parámetro	Límite Permissible (mg/L)
Aluminio	5.0
Arsénico	0.1
Berilio	0.1
Cadmio	0.01
Cinc	2.0
Cobalto	0.05
Cobre	0.2
Cromo	0.1
Flúor	1.0
Hierro	5.0
Litio	2.5
Manganeso	0.2
Molibdeno	0.01
Níquel	0.2
pH	4.5 – 9.0 unidades

Tabla 10. (Continuación).

Parámetro	Límite Permisible (mg/L)
Plomo	5.0
Selenio	0.02
Vanadio	0.1
Boro	0.3 – 4.0
Coliformes Totales	< 5000 NMP
Coliformes Fecales	<1000 NMP

Nota. Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015).

La debida caracterización del agua del río Bogotá permite validar las condiciones a las cuales se encuentra el recurso hídrico a la altura del municipio de Chocontá, con la finalidad de poder establecer los requerimientos necesarios para su descontaminación y aprovechamiento del recurso en cultivos agrícolas en el mismo municipio. Debido a esto, es importante evaluar los diferentes tratamientos químicos, físicos o biológicos necesarios que permitan el aprovechamiento de este recurso en los cultivos.

5.2.2 Parámetros de agua detectados en el municipio de Chocontá

La información usada en esta sección fue suministrada por la CAR bajo el radicado No 20231080261 (Anexo 1), el cual contiene toda la información relacionada a los análisis de calidad de agua realizados al río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá, en donde, para dar alcance a este documento se hará uso de los datos tomados en el punto de monitoreo denominado como “Puente de Telecom” ubicado en la entrada del municipio bajo las coordenadas 5°09'09.9"N 73°40'45.6"W. Los parámetros establecidos por el Decreto 1076 de 2015, específicamente en el artículo 2.2.3.3.9.5 TRANSITORIO, que da alcance a los criterios de calidad del agua para uso agrícola, dan como resultado lo presentado en la Tabla 11.

Tabla 11.*Criterios calidad para uso del agua en cultivos en el municipio de Chocontá – Puente de Telecom.*

Parámetro	Límite Permissible (mg/L)	Resultado Promedio (mg/L) ^a	Cumplimiento
Aluminio	5.0	0.5571	Sí
Arsénico	0.1	<0.04	Sí
Berilio	0.1	<0.01	Sí
Cadmio	0.01	<0.03	No
Cinc	2.0	0.1469	Sí
Cobalto	0.05	<0.01	Sí
Cobre	0.2	<0.01	Sí
Cromo	0.1	0.2051	No
Flúor	1.0	<1.0	Sí
Hierro	5.0	2.0524	Sí
Litio	2.5	<0.01	Sí
Manganeso	0.2	0.1045	Sí
Molibdeno	0.01	<0.01	Sí
Níquel	0.2	<0.02	Sí
pH	4.5 – 9.0 unidades	7.3888	Sí
Plomo	5.0	<0.04	Sí
Selenio	0.02	<0.04	No
Vanadio	0.1	<0.02	Sí
Boro	0.3 – 4.0	0,026	Sí
Coliformes totales	< 5000 NMP	102,537	No
Coliformes fecales	<1000 NMP	10,341	No

Nota. Los valores presentados en el promedio corresponden al periodo 2014 – 2023, siendo este promedio calculado con 18 datos, además es importante aclarar que la fluctuación de los datos entre cada periodo es mínima.

^a Las coordenadas donde se evaluaron los datos es: (5°09'09.9"N 73°40'45.6"W).

5.2.2.a Análisis de parámetros críticos encontrados. De acuerdo con los resultados obtenidos en el punto de monitoreo Puente de Telecom en las coordenadas 5°09'09.9"N 73°40'45.6"W, consignados en la Tabla 11, se evidencia que los parámetros que no se cumplen según el Decreto 1076 de 2015 son: Cadmio, Cromo, Selenio, Coliformes totales y Coliformes fecales, lo cual puede tener graves consecuencias ambientales sociales y económicas.

- Consideraciones Ambientales: En términos ambientales, la presencia de estos metales pesados junto con las bacterias genera una afectación a la calidad del agua del río Bogotá, esto último podría generar riesgos para todos los seres vivos que hacen uso de este recurso. Estos contaminantes presentes en el recurso hídrico pueden causar la eutrofización del agua, lo que daría paso al crecimiento excesivo de algas, afectando así la cantidad de oxígeno disponible alterando el equilibrio ecosistémico presente en la zona (Espinoza_Rivas et al., 2022; Silva & Salinas Morales, 2022).

Estudios recientes han demostrado que la presencia de metales pesados, especialmente los que no se cumplen según lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015 pueden causar efectos tóxicos a largo plazo en la biota acuática (Sharma et al., 2022). Se ha demostrado que la exposición al cadmio puede afectar la reproducción y supervivencia de organismos acuáticos, mientras que la exposición de cadmio en la salud humana puede generar afectaciones gastrointestinales y en ciertas ocasiones la muerte (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades - ATSDR, 2016).

El cromo causa problemas respiratorios, si es ingerido afecta el estómago, intestino delgado y sangre generando enfermedades como anemia, irritación y úlceras. Estudios han revelado que puede ser cancerígeno en los seres humanos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2012).

El Selenio tiene efectos beneficiosos para la salud, sin embargo, la exposición crónica a altos niveles puede provocar una enfermedad conocida como selenosis efectos adversos (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades - ATSDR, 2003). Por último, la alta concentración de coliformes totales y fecales pone en riesgo la vida acuática, y paralelamente es un riesgo para la salud pública, debido a que estos organismos suelen ser vectores de enfermedades gastrointestinales y otras infecciones (Banseka & Tume, 2024).

- Consideraciones Sociales: La contaminación presente en el río Bogotá, tiene impactos directos en la comunidad que le rodea, según los parámetros evaluados, no se recomienda el uso de este recurso para el riego agrícola de la zona, además esto también podría repercutir en el acceso al recurso y desarrollo local de actividades económicas, puesto que en caso de ser consumido este recurso, provocaría enfermedades gastrointestinales, dermatológicas, respiratorias y neurológicas en la población (Díaz-Casallas et al., 2019; Salamanca-Cano & Durán-Díaz, 2023).
- Consideraciones Económicas: En cuanto a las dimensiones económicas, el tipo de contaminantes presentes en el punto de monitoreo evidencian que el sector agrícola se ve perjudicado directamente al no poder hacer uso del agua, esto principalmente a que debido a los metales y bacterias presentes los cultivos pueden verse afectados (Velázquez-Chávez et al., 2022).

La contaminación también afecta de forma negativa la productividad agrícola y la seguridad alimentaria, debido a que el uso de agua contaminada o en condiciones no aptas según lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015, puede transferir metales pesados a los cultivos, haciendo que estos sean inseguros para el consumo humano (Reyes et al., 2016).

Cabe resaltar que, analizando de forma general y no orientado al alcance de este proyecto, a nivel económico también el turismo, la ganadería y una posible

inversión para el crecimiento económico del municipio podría verse afectada por la contaminación presente en el río Bogotá (Aguilar Ibarra & Pérez Espejo, 2007).

- Posibles causas de la contaminación: La industria curtiembre procesa pieles provenientes del ganado en su mayoría, con el objetivo de convertir la materia prima en cuero, para ser usado posteriormente en calzado, tapicería, vestimenta, entre otros (Alcaldía Mayor de Bogotá et al., 2010). Este proceso por lo general contamina las aguas donde es vertido el residuo después de la producción del cuero con metales pesados tales como el cadmio, cromo (Silva & Salinas Morales, 2022) y aluminio (Esparaza & Gamboa, 2001).

Por otro lado, el uso constante de fertilizantes y pesticidas en los procesos de la agricultura, es otra fuente de contaminación del río, usualmente la escorrentía de los campos agrícolas lleva nutrientes y productos químicos al río, dando paso a la eutrofización y la contaminación química, en donde estudios han mostrado que los fertilizantes pueden contener trazas de metales pesados (Albou et al., 2024; Holden et al., s/f), contribuyendo a los niveles elevados de estos contaminantes en el Río Bogotá.

Para finalizar, el crecimiento poblacional da como resultado una proporción significativa de las aguas residuales domésticas que se descargan sin tratamiento adecuado, contribuyendo de esta manera a los altos niveles de coliformes totales y fecales en el río Bogotá (Environmental Protection Agency - EPA, 2023).

5.3 Propuesta de la estrategia de gestión hídrica para el uso de agua del Río Bogotá en el municipio de Chocontá.

En esta sección se propuso la estrategia de gestión hídrica para el uso de agua del río Bogotá, por medio de la metodología de matriz de expertos y el desarrollo del cuestionario para obtener información de mínimo diez (10) expertos.

5.3.1 Matriz de expertos

La matriz de expertos tiene toda la información recopilada a través de las preguntas expuestas en la sección 4.4.2.a por medio de la herramienta de Google Forms, la cual se ira presentado y analizando a lo largo de esta sección.

5.3.1.a Aplicación del cuestionario – matriz de expertos. Los expertos invitados fueron contactados por correo electrónico para que diligenciaran el formulario de Google Forms presentado en el anexo 2, denominado como cuestionario para matriz de expertos, y la ponderación dada a cada experto es igual para cada invitado.

5.3.1.b Recopilación y análisis de información. A lo largo de la siguiente sección se presenta la información recolectada por medio del formulario de Google Forms, discriminado por cada una de las preguntas presentes en el cuestionario enviado a los expertos.

➤ **Pregunta 1 – Cuestionario matriz de expertos.**

De los contaminantes expuestos en la imagen pondere del uno (1) al diez (10) siendo uno (1) el contaminante menos preocupante y diez (10) el contaminante más preocupante en términos de impacto ambiental y posibles complicaciones de salud pública presente en el río Bogotá (puede repetir los valores). Los resultados se pueden ver consignados en la Tabla 12 presentada a continuación:

Tabla 12.

Ponderación de expertos sobre los contaminantes presentes en el Río Bogotá según Decreto 1076 de 2015.

Contaminante	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7	Ex. 8	Ex. 9	Ex. 10	Ex. 11
Aluminio	4	3	10	5	6	6	7	5	10	9	2
Arsénico	4	9	7	7	9	3	9	4	10	10	2
Berilio	4	8	7	4	7	2	1	6	6	8	2
Cadmio	4	8	7	8	9	4	6	2	9	8	8
Cinc	1	4	10	5	6	7	6	5	9	7	4
Cobalto	3	8	6	5	6	3	6	6	7	6	8
Cobre	4	5	6	5	7	3	6	6	6	7	4
Cromo	4	6	10	9	9	6	8	2	10	9	8
Flúor	4	6	5	6	7	1	5	1	4	10	2
Hierro	2	5	8	5	5	6	4	4	2	5	2
Litio	4	4	5	5	7	1	4	8	2	7	2
Manganeso	2	4	2	5	6	6	4	6	2	6	2
Molibdeno	2	4	2	8	7	1	3	7	5	7	2
Níquel	3	4	2	8	7	1	4	6	7	7	2
pH	3	5	1	9	5	1	5	9	2	9	10
Plomo	4	5	4	9	9	2	8	1	10	9	1
Selenio	4	6	4	6	9	2	4	5	9	5	2
Vanadio	4	6	4	5	7	2	1	7	9	9	2

Tabla 12. (Continuación).

Contaminante	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4	Ex. 5	Ex. 6	Ex. 7	Ex. 8	Ex. 9	Ex. 10	Ex. 11
Boro	4	3	4	5	5	3	2	7	8	7	2
Coliformes Totales	4	8	10	9	5	9	9	2	9	10	2
Coliformes Fecales	4	8	10	9	5	8	8	2	10	10	2

Nota. El orden de los expertos presentados en la tabla es aleatorio y no corresponde al orden de los perfiles presentados en la sección 4.3.1.c.

Según los resultados consignados en la tabla expuesta con anterioridad es evidente que la preocupación principal de los expertos en cuanto a contaminantes se refiere es la presencia de Cromo con un valor promedio de 7.36, seguido por los Coliformes Totales con un valor promedio de 7.00 y los Coliformes Fecales con un valor promedio de 6.91. En la Tabla 13 se resume los valores obtenidos por los expertos de mayor preocupación a menor preocupación en cuanto a la presencia del contaminante se refiere.

Tabla 13.

Parámetros de mayor preocupación según expertos.

Parámetro	Valor Promedio de Expertos
Cromo	7.36
Coliformes Totales	7.00
Coliformes Fecales	6.91
Arsénico	6.73
Cadmio	6.64
Aluminio	6.09
Cinc	5.82
Cobalto	5.82
Plomo	5.64
pH	5.36
Cobre	5.36
Selenio	5.09
Vanadio	5.00
Berilio	5.00
Flúor	4.64
Níquel	4.64
Boro	4.55
Litio	4.45
Hierro	4.36
Molibdeno	4.36

Tabla 13. (Continuación).

Parámetro	Valor Promedio de Expertos
Manganeso	4.09

Nota. Los resultados se presentan de acuerdo a la información recopilada de los expertos y en orden de mayor promedio a menor promedio.

Ahora bien, en relación con la Tabla 11 presentada en la sección “5.2.2 Parámetros de agua detectados en el municipio de Chocontá”, donde se evidencia el cumplimiento o no del parámetro analizado según el decreto 1076 de 2015, y considerando además las respuestas de los expertos invitados consignadas en la Tabla 12 y Tabla 13, se realiza una comparación de información de todas las tablas, dando como resultado la Tabla 14. En esta tabla se destaca que parámetro cumple con la norma y la preocupación según los expertos invitados, además de permitir la validación de conocimiento frente a la norma por parte de los encuestados.

Tabla 14.

Validación de respuestas de expertos.

Parámetro	Cumplimiento según el Decreto 1076 de 2015	Valor Promedio de Expertos
Cromo	No	7.36
Coliformes Totales	No	7.00
Coliformes Fecales	No	6.91
Arsénico	Sí	6.73
Cadmio	No	6.64
Aluminio	No	6.09
Cinc	Sí	5.82
Cobalto	Sí	5.82
Plomo	Sí	5.64
pH	Sí	5.36
Cobre	Sí	5.36
Selenio	No	5.09

Tabla 14 (Continuación).

Parámetro	Cumplimiento según el Decreto 1076 de 2015	Valor Promedio de Expertos
Vanadio	Sí	5.00
Berilio	Sí	5.00
Flúor	Sí	4.64
Níquel	Sí	4.64
Boro	Sí	4.55
Litio	Sí	4.45
Hierro	Sí	4.36
Molibdeno	Sí	4.36
Manganeso	Sí	4.09

Nota. Elaborada con base a los resultados de la matriz de expertos y el respectivo cumplimiento normativo para uso del agua en cultivos agrícolas según lo estipulados en el Decreto 1076 de 2015.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 14, se evidencia que los expertos invitados tienen un criterio fundamentado en el conocimiento general de la calidad del recurso hídrico, esto debido a la ponderación promedio de resultados de expertos refleja que la mayor preocupación de estos, son los parámetros por controlar que no se están cumpliendo con lo estipulado por el Decreto 1076 de 2015. Lo cual para este estudio es positivo, dando a entender que los expertos consultados fueron adecuados para dar paso a una estrategia de gestión hídrica adecuada según las necesidades del municipio de Chocontá.

➤ **Pregunta 2 – Cuestionario matriz de expertos.**

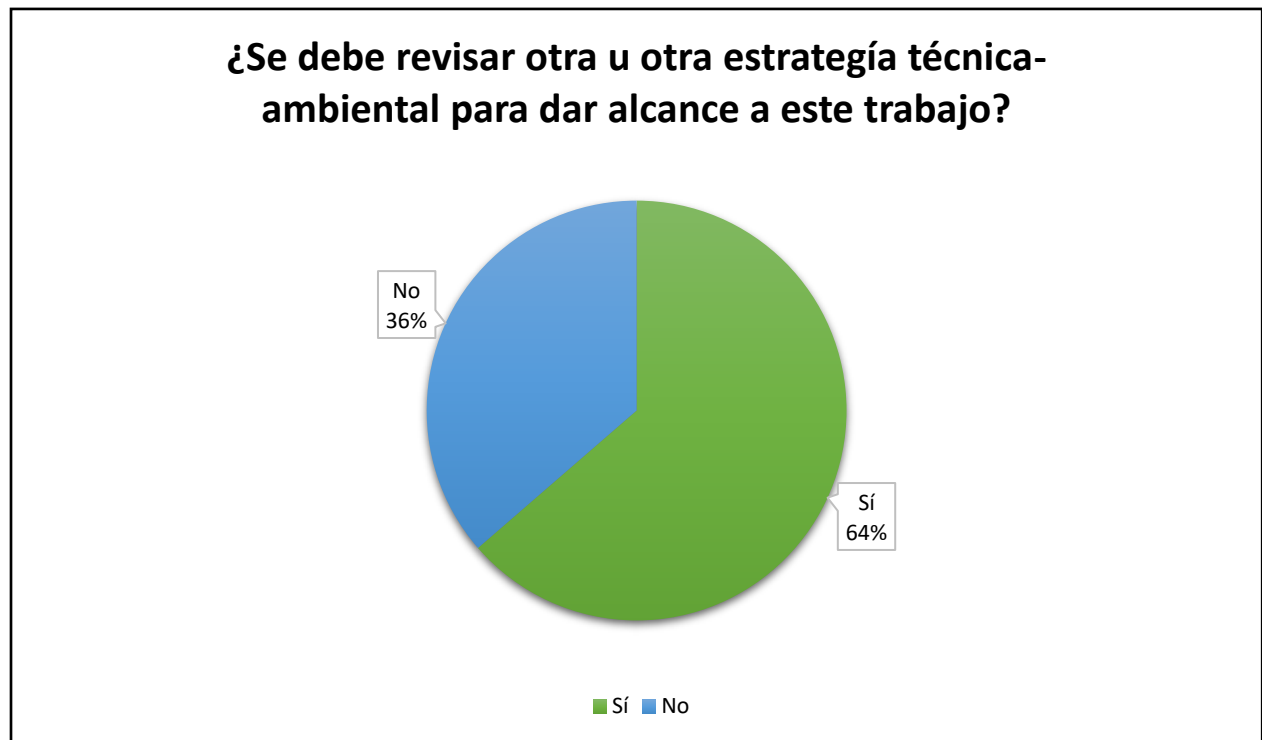
Las siguientes estrategias técnicas-ambientales propuestas a continuación, serán tenidas en cuenta, con la finalidad para reducir los contaminantes en el río Bogotá: Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá, Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua, Control más estricto de las descargas industriales. ¿Considera que hay otra u otras estrategias técnicas-ambientales deben

tenerse en cuenta para este trabajo? (Si la respuesta es negativa favor responder No Aplica)

Las respuestas de los expertos a esta pregunta fueron variadas en la Figura 3, se puede evidenciar que cuatro (4) de los encuestados consideran que no se requiere revisar otra y otras estrategias técnicas-ambientales, mientras que siete (7) consideran que sí deben revisarse otra u otras estrategias que den alcance al objetivo del presente trabajo.

Figura 3.

Resultado pregunta dos (2) - Matriz de experto



Nota. Elaborado por el autor de acuerdo con los resultados de la matriz de expertos.

En cuanto a las respuestas afirmativas por los expertos se pueden evidenciar en la Tabla 15, que se presenta continuación, los comentarios generados por los expertos al momento de ser consultados.

Tabla 15.

Estrategias técnico-ambientales para tener en cuenta por parte de los expertos.

Experto Invitado	Respuesta Afirmativa
Experto 1	“Además de las propuestas técnicas-ambientales propuestas, se pueden incluir estrategias sociales referentes a concientización de las comunidades y/o industrias que hacen vertimientos al ambiente.”
Experto 2	“Apoyo normativo para que la industria de curtiembres deje de descargar directamente en el río.”
Experto 3	“Reuso del agua y economía circular aplicada al recurso hídrico”
Experto 4	“Sí, deben multar de forma drástica, o inclusive, cerrar las empresas que incumplan repetidamente las normas de vertimientos.”
Experto 5	“Considero que deben intervenir los procesos para sustitución de materias primas, insumos, cambio de prácticas, con estos contaminantes se debe insistir en tratamientos terciarios, pero con gestión para reducir el costo para el generador. Adicionalmente, profundizar en tratamientos con microorganismos”
Experto 6	“Soluciones basadas en la naturaleza.”
Experto 7	“Se deben revisar los límites permisibles para el riego agrícola y si no se cumple con los parámetros construir un sistema de tratamiento para lograr las características. Otra opción es buscar otra fuente para suministro de agua para riego. Si lo que se busca es descontaminar el río todas las estrategias propuestas deben combinarse para cumplir los objetivos de calidad. Depende del uso que se quiera dar al agua del río o el objeto de estudio.”

Nota. Los comentarios generados por los expertos, fueron copiados y pegados textualmente de las respuestas obtenidas en el instrumento utilizado.

De acuerdo con la información obtenida por parte de los expertos gran parte de la información consignada puede resumirse a grandes rasgos en los tres pilares fundamentales que dan alcance al desarrollo sostenible, debido a que se busca dar alcance al cuidado ambientales, el beneficio social y el crecimiento económico sostenibles sin hacer un impacto negativo considerable a los ecosistemas que rodean el sistema hídrico.

- Educación y participación comunitaria: Varios expertos mencionan la importancia de involucrar a las comunidades y a las industrias en la educación sobre la necesidad de reducir los vertimientos y cuidar el entorno ambiental. Para dar alcance a este cambio, es necesario modificar el comportamiento y la responsabilidad compartida de las partes involucradas para así abordar el problema a corto, mediano y largo plazo (Uzoaru & Ntente, 2021).

La educación ambiental puede ser implementada por medio de programas escolares y campañas de sensibilización comunitaria, todos enfocados a fomentar un comportamiento ambientalmente responsable, esto dará alcance a que la comunidad desarrolle competencias orientadas a la conservación del ambiente (Espejel Rodríguez & Flores Hernández, 2012), lo cual dará paso a la mitigación del deterioro ambiental del recurso hídrico.

- Apoyo normativo y aplicación de la ley: Se necesita un respaldo normativo para regular y controlar las descargas industriales al río, donde exista algún tipo de perjuicio como sanciones económicas o incluso el cierre de empresas que no cumplan adecuadamente con los requisitos ambientales legales.
- Tecnologías y prácticas de tratamiento avanzadas: Los expertos mencionan enfoques orientados al reúso de agua, la economía circular, tratamientos terciarios, y el uso de microorganismos para mejorar los procesos de tratamiento de aguas residuales que se descargan al río. Estas estrategias mencionadas por

los expertos darían alcance a una gestión más efectiva y sostenible del Río Bogotá.

Los tratamientos avanzados, a los cuales hacen mención los expertos, se determinan debido a las técnicas innovadoras, los beneficios y las aplicaciones que permiten generar un desarrollo tecnológico con enfoque en la gestión hídrica, dando lugar a un mayor grado de remoción de contaminantes en el recurso hídrico (Ortega-Ramírez & Rodríguez, 2021).

- Soluciones basadas en la naturaleza: Estas soluciones implica utilizar ecosistemas naturales para ayudar en el proceso de limpieza y restauración del recurso hídrico y los ecosistemas que le rodean (International Union for Conservation of Nature, 2020).
- Pregunta 3 – Cuestionario matriz de expertos.

Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a las estrategias técnicas-ambientales expuestas, siendo uno (1) la que considere menos efectiva y cinco (5) la que considere más efectiva (puede repetir la valorización). Resultados los cuales se pueden ver consignados en la Tabla 16.

Tabla 16.

Ponderación según expertos para las estrategias técnico-ambientales propuestas en la encuesta.

Estrategia Técnico-Ambiental	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales.	1	5	3	4	5	4	1	5	5	5	5

Tabla 16. (Continuación).

Estrategia Técnico-Ambiental	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá.	5	4	2	5	4	2	2	4	4	5	5
Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua.	5	5	5	5	5	5	3	2	5	4	5
Control más estricto de las descargas industriales.	5	4	5	5	3	4	5	5	5	5	5
Otra (por favor, especifique)	5	5	1	4	4	1	4	1	5	1	5

Nota. Elaborado a partir de los resultados obtenidos de la consulta a los expertos.

Según los resultados consignados en la Tabla 16 se entiende que la prioridad en cuanto a estrategias técnico-ambientales para tener en cuenta sería con un valor promedio de 4.64 un control más estricto de las descargas industriales, seguido por la implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua con un valor promedio de 4.45 y en tercer lugar el aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales con un valor promedio de 3.91. En la Tabla 17 se presentan en orden de más efectiva a menor efectiva según los expertos consultados.

Tabla 17.

Ponderación de estrategias de más efectiva a menos efectiva.

Estrategia Técnico-Ambiental	Valor Promedio de Expertos
Control más estricto de las descargas industriales.	4.64
Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua.	4.45
Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales.	3.91
Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá.	3.82
Otra (por favor, especifique)	3.27

Nota. Elaborado a partir de la información recopilada de la matriz de expertos.

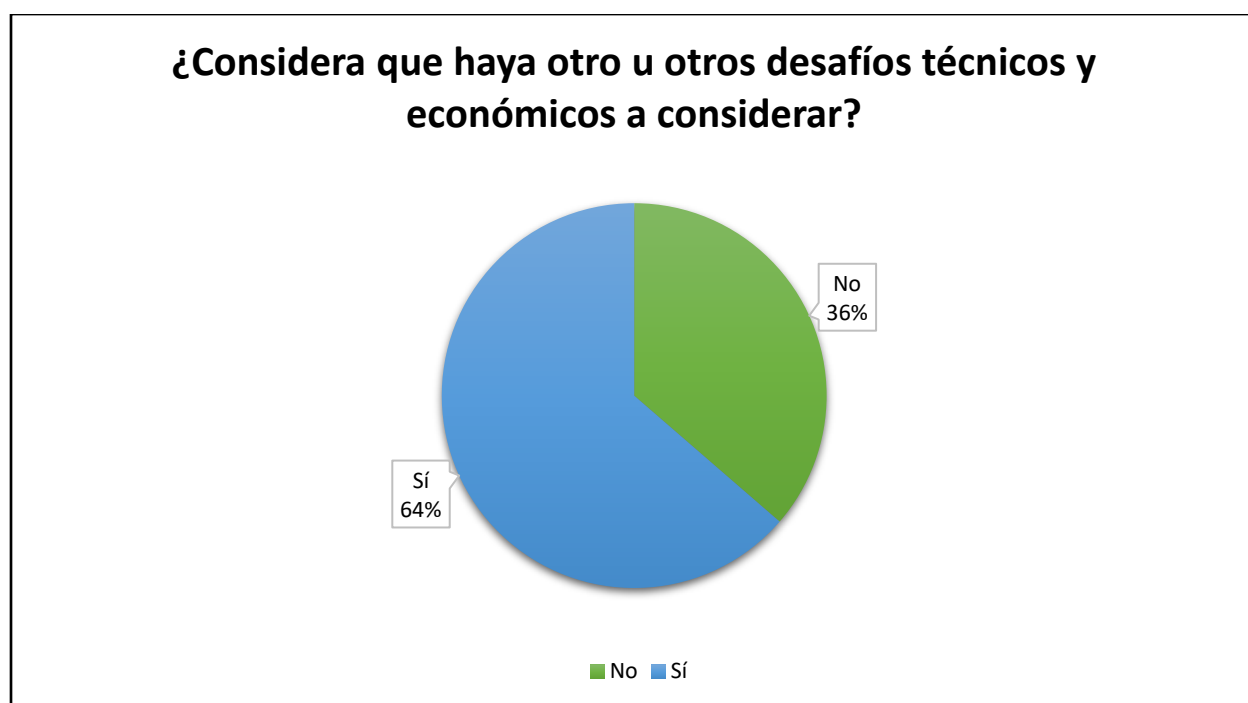
➤ **Pregunta 4 – Cuestionario matriz de expertos.**

Los siguientes desafíos técnicos y económicos serán considerados para la gestión hídrica del río Bogotá: Limitaciones presupuestarias, Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta, Contaminación industrial, Falta de cooperación entre entidades gubernamentales. ¿Considera que haya otro u otros desafíos técnicos y económicos a considerar? (Si la respuesta es negativa, favor responder No Aplica).

Las respuestas de los expertos a esta pregunta fueron de la siguiente manera cuatro (4) de los encuestados consideran que no hay otro u otros desafíos técnicos y económicos a considerar en el estudio, mientras que siete (7) consideran que sí debe revisarse otro u otros desafíos técnicos y económicos que den alcance al objetivo del presente trabajo (Figura 4).

Figura 4.

Resultado pregunta cuatro (4) - Matriz de experto.



Nota. Elaborado por el autor de acuerdo con los resultados de la matriz de expertos.

En cuanto a las respuestas afirmativas frente a los desafíos técnicos y económicos para considerar por los expertos se pueden evidenciar en la Tabla 18, que se presenta continuación.

Tabla 18.

Desafíos técnicos y económicos para considerar según expertos.

Experto Invitado	Respuesta Afirmativa
Experto 1	Implementación de beneficios tributarios a compañías en función de incentivar y lograr tener "operaciones más limpias".
Experto 2	Los instrumentos de planificación POMCA, PORH y PSMV se encuentran desarticulados.

Tabla 18. (Continuación).

Experto Invitado	Respuesta Afirmativa
Experto 3	Descontaminación de las medianas y pequeñas empresas con respecto a sistemas de tratamiento y legislación.
Experto 4	Falta de compromiso de los generadores y la situación social del sector aledaño.
Experto 5	Falta de capacitación del personal a cargo de los sistemas de tratamiento, falta de mantenimiento a la infraestructura y equipos, y dotación de sustancias químicas y personal experto en labores de tratamiento.
Experto 6	Pobreza, falta de control en el gasto de recursos públicos.
Experto 7	Capacitación permanente a todos los actores contaminantes.

Nota. Elaboración propia con base a los resultados obtenidos por los expertos.

Los comentarios de los expertos destacan desafíos clave que deben abordarse para desarrollar efectivamente la estrategia de gestión hídrica que busca este proyecto, teniendo en cuenta cuestiones técnicas y de infraestructura, como también aspectos sociales, económicos y ambientales.

- Incentivos fiscales para empresas con enfoque hacia la producción limpia: Beneficios tributarios para empresas que adopten prácticas más limpias y sostenibles, impulsando de esta forma cambios positivos en su operación y en el impacto ambiental que generarían en sus procesos productivos (CEPAL & Oxfam, 2019).

Las empresas que cumplan con normatividad orientada a reducir el impacto ambiental tendrán beneficios tributarios, según Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022) los beneficios podrían ser:

- ✓ Descuento del impuesto sobre la Renta por las inversiones en control, conservación y mejoramiento del medio ambiente.
 - ✓ Exclusiones del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) para los bienes que se venden en Colombia, asociados al desarrollo de actividades que generan impactos ambientales positivos.
 - ✓ Equipos y elementos para sistemas de control y monitoreo ambiental.
 - ✓ Equipos para reciclar y procesar basuras, depuración y tratamiento de aguas residuales, emisiones atmosféricas o residuos sólidos.
- Coordinación de instrumentos de planificación: Según un experto existe una desarticulación de los instrumentos de planificación como el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), el cual es un instrumento el cual planea el uso coordinado del suelo, agua, flora, fauna y manejo de las cuencas hidrográficas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024), también menciona Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) el cual es un instrumento de planificación que permite a una autoridad ambiental, intervenir los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de los cuerpos de agua (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE “CORNARE”, 2022; DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO, 2018), por último el experto hace mención del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) el cual es un instrumento de manejo ambiental aprobado por la CAR, que busca trabajar en conjunto con programas, proyectos y actividades, para avanzar con el saneamiento y tratamiento de los vertimientos de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2020).
- Compromiso de los generadores y consideraciones sociales: Según las respuestas consignadas por los expertos, es importante fortalecer el compromiso

de los generadores de contaminación hacia el río, para así dar alcance a las implicaciones sociales en la gestión hídrica adecuada del área cercana a la ronda del Río Bogotá. Este compromiso debe abarcar tanto a las industrias como las comunidades, lo cual sería fundamental para lograr una gestión hídrica adecuada del área cercana a la ronda hídrica del Río Bogotá, lo cual daría paso a que los generadores de contaminantes reconozcan su papel en la preservación del ambiente y asumir la responsabilidad de reducir los impactos negativos (Griffiths & Lucas, 2016; OECD - Better Policies for Better Lives, 2024).

- Problemas socioeconómicos y control del gasto: La pobreza monetaria y la falta de control en el gasto público pueden entorpecer los esfuerzos y/o estrategias encaminadas a mitigar y/o controlar la contaminación de la zona (Gerszon Mahler et al., 2018).
- Educación ambiental continua: La capacitación permanente de todos los actores involucrados con la contaminación del río Bogotá y las zonas aledañas aseguran el cuidado del agua para su respectivo uso (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2024), para de esta forma fomentar prácticas sostenibles encaminadas a la gestión hídrica sostenible (Márquez Delgado et al., 2021).
- Pregunta 5 – Cuestionario matriz de expertos.

Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a los desafíos técnicos y económicos, siendo uno (1) el que considere el menos apremiante y cinco (5) el que considere el más apremiante (puede repetir la valorización). Resultados los cuales se pueden ver consignados en la Tabla 19.

Tabla 19.*Ponderación de los desafíos técnicos y económicos según expertos.*

Desafíos técnicos y económicos	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Limitaciones presupuestarias.	1	3	4	3	5	5	1	5	5	5	5
Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta.	5	4	3	4	4	4	2	3	3	5	5
Contaminación industrial.	1	5	4	5	4	3	3	4	5	5	5
Falta de cooperación entre entidades gubernamentales.	1	4	4	5	5	3	5	3	5	3	5
Otra (por favor, especifique)	1	4	1	3	5	1	4	1	3	5	5

Nota. Elaborado por el autor de acuerdo con los resultados de los expertos.

Según los resultados consignados en la Tabla 19 se entiende que los desafíos técnicos y económicos prioritarios son Contaminación industrial (4.00), seguido por la falta de cooperación entre entidades gubernamentales. con un valor promedio de 3.91 y en tercer lugar con un valor promedio igual de 3.82 entre limitaciones presupuestarias e infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta. En la Tabla 20 se presentan en orden de más efectiva a menor efectiva según los expertos consultados.

Tabla 20.*Desafíos técnicos y económicos valores promedio de los expertos.*

Desafíos técnicos y económicos	Valor Promedio de Expertos
Limitaciones presupuestarias.	4.00
Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta.	3.91

Tabla 20. (Continuación).

Desafíos técnicos y económicos	Valor Promedio de Expertos
Contaminación industrial.	3.82
Falta de cooperación entre entidades gubernamentales.	3.82
Otra (por favor, especifique)	3.00

Nota. Elaboración propia con base a la información de los expertos consultados.

➤ **Pregunta 6 – Cuestionario matriz de expertos.**

Considerando la importancia de la participación de múltiples partes interesadas en la gestión hídrica, ¿qué actores o sectores deberían involucrarse activamente en la implementación de las estrategias técnico-ambientales mencionadas o propuestas en este formulario? ¿Por qué? En la Tabla 21 se pueden encontrar las respuestas dadas por los expertos consultados.

Tabla 21.

Sectores que deben involucrarse activamente en la implementación de la estrategia técnico-ambiental

Experto	Respuesta
Experto 1	El gobierno e investigadores, para dar solución a la problemática que afecta a la comunidad en general ya que el agua es de uso universal en todos los ámbitos.
Experto 2	Comunidades, industria, entes gubernamentales, instituciones educativas.
Experto 3	<ol style="list-style-type: none"> 1) Entidades estatales quienes brindarían el recurso económico. 2) Entidades ambientales, quienes darían el aval técnico y la evaluación del impacto ambiental de la propuesta presentada. 3) El sector industrial para el acatamiento de nuevas normativas de descarga de efluentes. 4) La población circundante a la nueva obra.

Tabla 21. (Continuación).

Experto	Respuesta
Experto 4	Gobierno, si existiera normativa y sanciones más fuerte en temas de descargas directas al río no se evidenciaría tanta contaminación en los mismos.
Experto 5	Prestadores de Servicios Públicos, Sectores Productivos, Autoridades ambientales y usuarios.
Experto 6	N.A.
Experto 7	<p>Generadores porque deben ser conscientes del problema.</p> <p>Autoridad ambiental, para seguimiento y hacer cumplir las medidas.</p> <p>Autoridad territorial para gestionar incentivos y fomentar la pertenencia y articulación.</p> <p>Instituciones de educación para apoyar las capacitaciones.</p> <p>Expertos técnicos para un buen diseño.</p> <p>Empresas de servicios públicos de la zona para apoyar la gestión.</p> <p>Sector privado, empresas para apoyar económicamente.</p> <p>El estado para fortalecer las políticas.</p> <p>ONG para mayor financiación.</p>
Experto 8	La academia debe jugar un papel importante con propuesta, evaluación, monitoreo y difusión de estrategias.
Experto 9	Los actores son los incluidos en la política de gestión de recursos hídricos, administración gubernamental, empresas prestadoras de servicios públicos, comunidad, entes de control.
Experto 10	Sociedad, industria, academia, gobierno, organizaciones de la sociedad civil y ONG.
Experto 11	Se debe hacer un seguimiento y retroalimentación a todos los actores y sectores contaminantes. Porque es la única forma de impactar y mermar la contaminación.

Nota. Elaboración propia con base a la información de los expertos consultados.

De la información recolectada de los expertos se pueden establecer cinco (5) puntos clave que se describen a continuación:

- **Diversidad de actores y sectores involucrados:** Los expertos identifican diferentes actores y sectores que deben participar activamente en la implementación de estrategias técnico-ambientales enfocadas con la gestión hídrica adecuada. Entre los actores y sectores mencionados repetidamente por los expertos invitados son: Gobierno, entidades ambientales, industria, comunidad aledaña, instituciones educativas, prestadores de servicios públicos, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y empresas privadas.

La colaboración entre diversos actores es considerada como un aspecto importante de la gestión exitosa del recurso hídrico, sin embargo, esta se ve influenciada por el sistema de gobernanza que guía y organiza las acciones e interacciones a ejecutar entorno a la gestión del agua (de Boer et al., 2016), además es importante tener en cuenta que los proyectos del sector hídrico exigen inversiones considerables iniciales y no reembolsables (Lima et al., 2021), por tal motivo las alianzas son consideradas como un pilar fundamental de la gestión hídrica (Naciones Unidas, s/f).

- **Responsabilidades específicas de cada actor o sector:** Los expertos destacan que las responsabilidades van desde la importancia de asegurar los recursos económicos y aval técnico que, de alcance a la normativa, asimismo resaltan la importancia de educar a la comunidad, como también fortalecer las políticas y difundir las estrategias para asegurar una gestión hídrica adecuada.

El gobierno tiene un papel fundamental en la gestión hídrica, debido a que tiene la capacidad de administrar los recursos económicos y técnicos necesarios para implementar políticas y proyectos relacionados con la gestión hídrica adecuada (Ministerio de Ambiente - Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010b), entre los proyectos se pueden encontrar temas relacionados a la infraestructura de

tratamiento y programas de monitoreo de calidad del agua como se hace actualmente por parte de la CAR (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022).

Las industrias deben adoptar tecnologías limpias y sostenibles que minimicen las descargas de contaminantes al agua, esto incluye asumir la responsabilidad extendida como empresas sobre el ambiente, esto incluye la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y la adopción de procesos de producción más limpios (Ministerio de Ambiente - Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010a).

La comunidad local debe participar activamente en la protección y gestión del recurso hídrico, esto incluye la vigilancia comunitaria de la calidad del agua y la participación en proyectos orientados al cuidado ambiental (Becerra-Perenguez et al., 2023). En cuanto a las instituciones educativas y centros de investigación, tienen un papel fundamental en la generación de propuestas, capacitación, investigación y difusión de estrategias relacionadas con la gestión hídrica (Berdugo Silva & Montaña Renuma, 2017; Callejas-Restrepo et al., 2018).

- Énfasis en el cumplimiento normativo y la educación ambiental: Algunos expertos resaltan la importancia de un marco normativo sólido con sanciones efectivas que garanticen el cumplimiento de las regulaciones ambientales establecidas, de la misma manera, establecen que la educación ambiental es fundamental entre todos los actores involucrados para poder abordar la gestión hídrica de forma adecuada y eficiente.
- Importancia de la investigación: Algunos expertos reconocen el papel de la academia en la generación de propuestas, capacitaciones, investigación y difusión de estrategias relacionadas con la gestión hídrica.
- Enfoque en el seguimiento y la retroalimentación: Los expertos también reconocen la importancia de mantener un seguimiento continuo, con la finalidad de someter

la estrategia a un proceso de mejora continua en donde se involucren todos los actores y sectores involucrados en la estrategia de gestión hídrica.

Mantener un monitoreo constante permite identificar problemas emergentes, evaluar la efectividad de las medidas implementadas y ajustar las estrategias según sea necesario (Organización Internacional de Normalización, 2015).

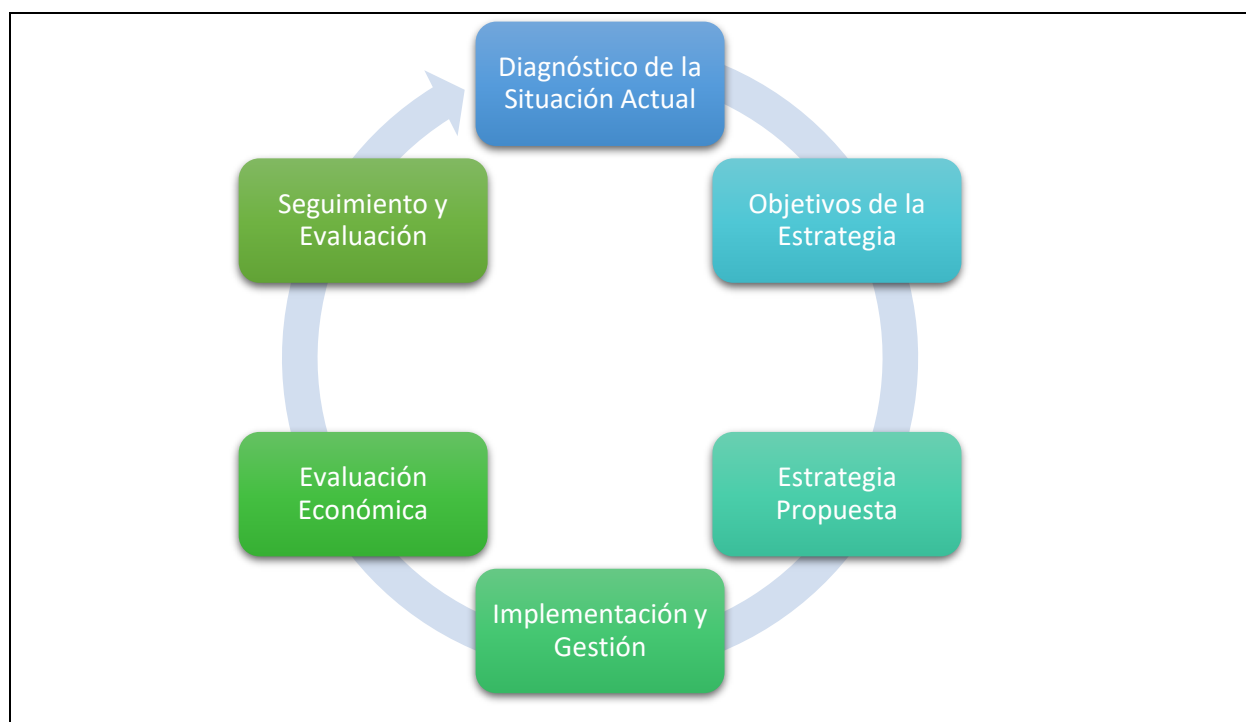
Actualmente la CAR tiene un sistema de monitoreo el cual reporta cada seis (6) meses los resultados de índice de calidad del agua de todo el recorrido del Río Bogotá (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022), esto permite la recolección de datos sobre parámetros clave de la calidad del recurso hídrico, y por ende, evaluar la efectividad de las medidas implementadas, con la finalidad, de ajustar las estrategias según se requiera.

5.3.2 Desarrollo de la propuesta de una estrategia técnico-ambiental de gestión hídrica para el municipio de Chocontá.

La propuesta que se desarrolla a continuación se divide en seis (6) secciones de acuerdo con las lecciones aprendidas de la matriz de expertos y la información previamente investigada frente a estrategias de gestión hídrica exitosas en otras situaciones similares a las presentadas en el Río Bogotá caso Chocontá – Cundinamarca, como se observa en la Figura 5.

Figura 5.

Estrategia de gestión hídrica para el municipio de Chocontá.



Nota. Diagrama de las etapas de la estrategia de gestión hídrica que busca proponerse en el municipio de Chocontá.

5.3.2.a Diagnóstico de la Situación Actual. La estrategia técnico-ambiental para la gestión hídrica del Río Bogotá en Chocontá, inicia con un diagnóstico de la situación actual con la finalidad de establecer el punto de partida y los objetivos de la estrategia, debido a la importancia de comprender la situación actual y el contexto del municipio de Chocontá frente a la calidad del agua disponible en el Río Bogotá y como esta impacta los cultivos del área.

El diagnóstico da las bases para el diseño de actividades estratégicas y específicas orientadas a mejorar la calidad del agua para riego, con la finalidad de aumentar la eficiencia de uso del recurso hídrico, disminuir la contaminación del río Bogotá, para contribuir a la sostenibilidad y productividad de la agricultura a lo largo y ancho del municipio.

5.3.2.b Objetivos de la estrategia técnico-ambiental de gestión hídrica para el municipio de Chocontá. Para esta estrategia se proponen dos objetivos que dan

alcance a las necesidades de la comunidad, como también a la sostenibilidad económica y ambiental de Chocontá, por lo tanto, los objetivos serían los siguientes:

- Proponer el uso y gestión adecuada del agua para riego agrícola, asegurando la disponibilidad y calidad del recurso hídrico para el desarrollo sostenible de la agricultura en el municipio Chocontá.
- Disminuir la contaminación presente en las aguas del Río Bogotá por medio de la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el impacto ambiental negativo.

5.3.2.c Estrategia propuesta. La estrategia por desarrollar en el municipio de Chocontá debe abarcar las diferentes lecciones aprendidas obtenidas de los resultados de la matriz de expertos, y contrastado con la literatura consultada previamente, dando como resultado cinco (5) subsecciones que deben ser trabajadas de forma articulada para dar alcance a los objetivos propuesto previamente. Las cinco (5) subsecciones serían: Mejora de la infraestructura de riego, gestión integrada del recurso hídrico, monitoreo y control estricto de la calidad del agua, capacitación y asistencia técnica, y aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-a, 2024; Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2018).

- Mejora de la infraestructura de riego: La mejora de infraestructura dará paso a la modernización y optimización de los sistemas de riego agrícola en el municipio. La agricultura de precisión parte desde la economía de recursos, permite atender los requerimientos espaciales y temporales de los cultivos permanentes y transitorios de la región (Chesa & Girona, 2021).

La infraestructura de riego por precisión se refiere a todos los sistemas y estructuras utilizadas para suministrar agua a los cultivos agrícolas, esto incluye los sistemas de captación, tuberías, bombas, sistemas de drenaje y equipos de distribución de agua (Ministerio de Agricultura, s/f).

El sistema de irrigación sugerido para el municipio de Chocontá sería el sistema de riego localizado debido a que los beneficios de este sistema que incluyen mayor eficiencia en el uso del agua, mejora en la productividad agrícola, ahorro de agua, reducción de costos, menor impacto ambiental y mayor control sobre el suministro del recurso hídrico (IFAD, 2023), debido a que el riego por goteo localizado, suministra agua directamente a las raíces de las plantas, minimizando la evaporación y el desperdicio del recurso hídrico (Delgado et al., 2023). dando paso al objetivo de la propuesta de gestión hídrica.

- **Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH):** Esta sección de la estrategia parte desde las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo donde se busca focalizar las acciones necesarias desde la perspectiva de las necesidades de la comunidad y la cuenca hidrográfica del Río Bogotá, los requisitos dados por el ministerio se pueden observar en la Figura 6.

Figura 6.

Requisitos para dar alcance a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

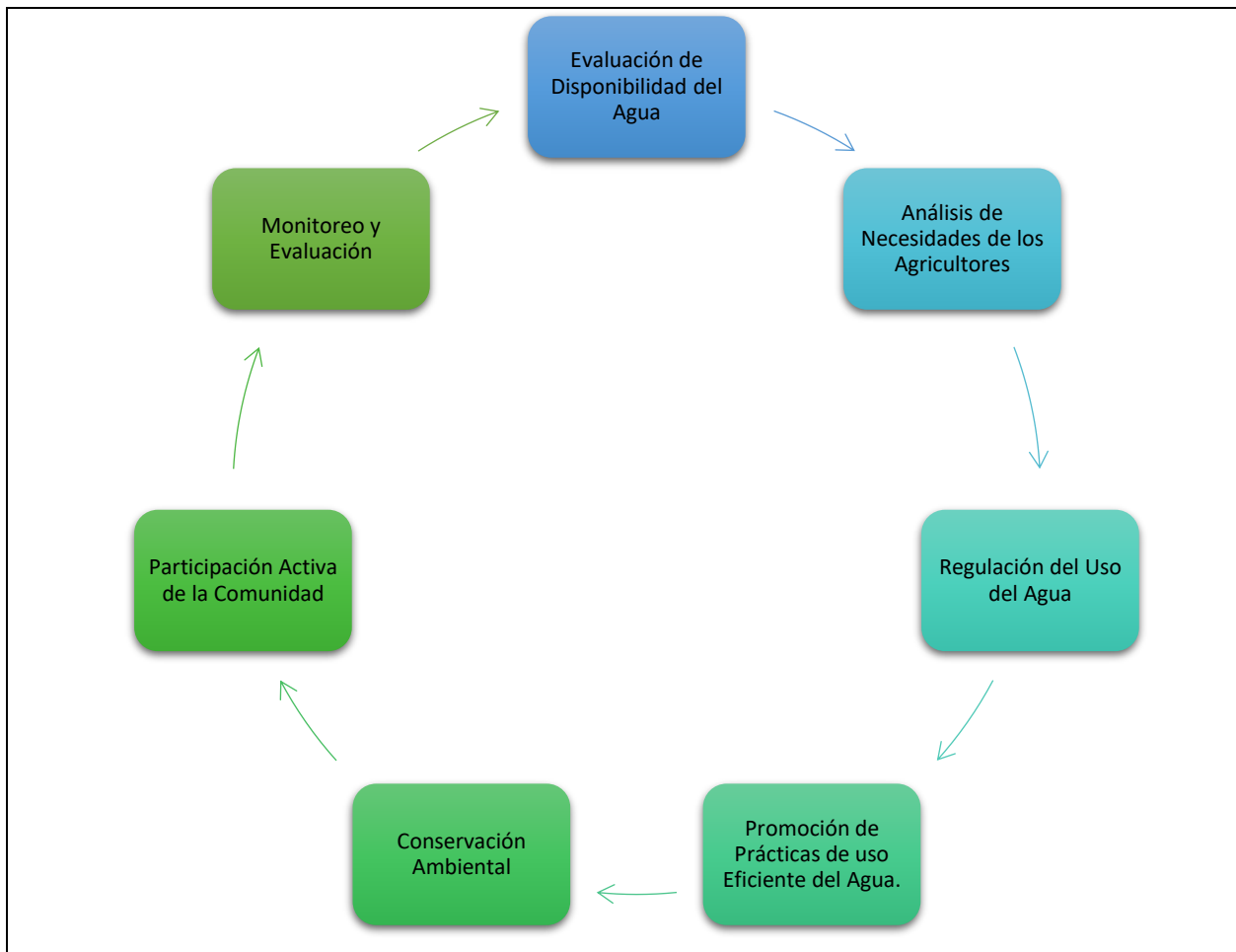


Nota. Elaborado a partir de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s/f-a). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Recuperado el 25 de febrero de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/>

Es importante aclarar que cada región tiene sus propias características y desafíos únicos, por lo tanto de acuerdo a las lecciones aprendidas de los expertos, sumado a que la implementación de un sistema de GIRH es un proceso de aprendizaje continuo y requiere compromiso a largo plazo sumado a la voluntad de la comunidad en adaptarse y aprender (United Nations, 2023), para el caso de Chocontá, se proponen siete (7) pasos clave para asegurar un desarrollo e implementación adecuada en el corto, mediano y largo plazo. En la Figura 7 se resumen los pasos que serán descritos más adelante.

Figura 7.

Pasos clave para el desarrollo e implementación de la GIRH en Chocontá.



Nota. Etapas clave para el desarrollo de la GIRH en Chocontá.

- Evaluación de la Disponibilidad del Agua: En primer lugar, para dar alcance a la transición a una infraestructura de riego localizada, se requiere hacer una evaluación de la disponibilidad del agua en las diferentes temporadas del año (seca o lluvias).
- Análisis de Necesidades de los Agricultores: Seguidamente, se requiere hacer un análisis detallado de las necesidades de los agricultores locales, en donde, se debe incluir un estudio de las tendencias de los cultivos y los tipos de riego que se utilizan en el municipio de Chocontá, con la finalidad de entender las tendencias de los cultivos y el tipo de riego de estos en el municipio de Chocontá.
- Regulación del Uso del Agua: Establecer una regulación en el uso del agua es el siguiente paso importante, debido a que esto permitiría asegurar un uso equitativo del recurso y a su vez, daría paso a un uso eficiente del mismo, puesto que abriría límites máximo de consumo del agua. Las regulaciones deben ser claras y estrictamente aplicadas, con la finalidad de prevenir el uso excesivo y promover la sostenibilidad entre el gremio de agricultores.
- Promoción y Capacitación en Prácticas de Uso Eficiente del Agua: La promoción y capacitación de prácticas de uso eficiente del recurso hídrico, puesto que se requiere educar adecuadamente a la comunidad sobre la técnica de riego a implementar en sus cultivos.
- Conservación Ambiental: Chocontá es uno de los municipios de Cundinamarca con una biodiversidad significativa debido a sus múltiples ecosistemas (Duque Gutiérrez & Montes del Olmo, 2011), por lo tanto, es indispensable que el quinto paso sea la conservación ambiental, para lo cual se busca crear zonas de protección ecosistémica alrededor del Río Bogotá mediante la promoción de las prácticas sostenibles en el uso del agua.

- Participación Comunitaria y Gobernanza del Agua: La participación activa de la comunidad y diferentes actores es clave para que se logre una implementación exitosa del sistema de GIRH (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f-a) en el municipio; esto se podría organizar mediante un comité de gestión del agua compuesto por diferentes actores de interés nombrados por los expertos consultados tales como: agricultores locales, líderes comunitarios, representantes de la industria, representantes del gobierno, la academia y asesores técnicos expertos en manejo del agua.

- Monitoreo y Evaluación del Sistema: Se debe mantener el programa de monitoreo y control de la calidad del agua por parte de la CAR que se utiliza para conocer el índice de calidad del agua del Río Bogotá y se presenta en el informe semestral de la CAR (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR, 2022), sin embargo, se debe tener presente lo mencionado por algunos expertos, en donde se haga un seguimiento y control estricto a las industrias que hagan vertimientos al cauce del río sin dar cumplimiento a los requerimientos ambientales legales, en donde se apliquen sanciones económicas y legales severas, con la finalidad de eliminar las prácticas contaminantes y promover la responsabilidad ambiental.

- Capacitación y asistencia técnica: Es recomendable capacitar a los agricultores en técnicas de riego eficiente es fundamental, sobre todo en épocas de sequía, por tal motivo, las capacitaciones y asistencia técnica debe abarcar el uso adecuado de los sistemas de riego por goteo o precisión, sumado al mantenimiento adecuado de estos sistemas para evitar que se vuelvan obsoletos.

Por otro lado, entendiendo las necesidades de cultivos del municipio de Chocontá, es indispensable enseñar a los agricultores la rotación de cultivos en una secuencia de temporadas de crecimiento, con la finalidad de mejorar la salud del suelo, optimizar el uso de nutrientes y reducir la incidencia de plagas en los

cultivos (Carranza-Patiño et al., 2024; Gonzalez Arizaga et al., 2019; Servín Niz et al., 2022; Tanveer et al., 2019; Xiuling et al., 2023).

Sumado a esto, se recomienda una capacitación en prácticas agrícolas adecuadas, lo cual es vital para reducir la erosión del suelo y la escorrentía de contaminantes, incluyendo técnicas de siembra directa, uso de coberturas vegetales y la implementación de barreras vegetales que eviten la pérdida de agua y mejoren la infiltración (Carranza-Patiño et al., 2024; Mier-Tous et al., 2023; Servín Niz et al., 2022).

Finalmente, es importante capacitar a los agricultores en el manejo general de los recursos hídricos, en donde el monitoreo regular del consumo de agua, la implementación de prácticas de conservación y la adopción de tecnologías nuevas e/o innovadoras permitan un uso eficiente del agua, mientras que paralelamente la asistencia técnica daría alcance a suministrar herramientas y conocimientos a los agricultores para que puedan adoptar las prácticas de manera sencilla y efectiva.

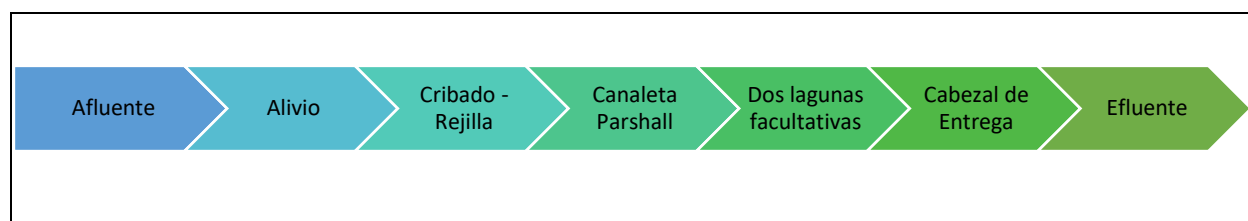
- Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales: Se requiere la actualización y expansión de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales existentes en el municipio y sus alrededores para manejar un volumen aproximado de 14,341.04 m³/día (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021) y poder tratar mayor cantidad del recurso hídrico, mientras que paralelamente se mejoran las prácticas de operación y mantenimiento en las mismas.

Para el aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, se puede estudiar la posibilidad de implementar un sistema de humedales artificiales, en donde estos son sistemas de fitodepuración de aguas contaminadas, el cual se desarrolla un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado (Delgadillo et al., 2010).

En cuanto al funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual (PTAR) presente en el municipio de Chocontá, fue construida en 1995 e inicio operaciones en 1997, y se rige por un tratamiento preliminar que consta de cuatro (4) etapas y un tratamiento secundario que consta de tres (3) etapas, y su eficiencia ronda entre un 68% (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2022) y 80%(Méndez Sayago et al., 2011) en cuanto a tratamiento de calidad del agua, la estructura de la PTAR se muestra en la Figura 8 y el funcionamiento en la Tabla 22.

Figura 8.

Planta Actual de Tratamiento de Aguas de Chocontá.



Nota. Elaborado por el autor modificado de Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022). *INFORME DE VIGILANCIA O INSPECCIÓN ESPECIAL, DETALLADA O CONCRETA.*

Tabla 22.

Funcionamiento PTAR - Chocontá

Proceso	Descripción
Alivio	Consiste en una estructura de concreto reforzado, con dimensiones de 3.70 m de largo, 1.20 m de ancho y 1.20 m de alto, sumado con una compuerta deslizante de tornillo fabricada en acero.
Cribado	Sistema provisto por una rejilla metálica con dimensiones de 0.40 m de ancho, 1.20 m de altura, con barras redondas de diámetro de ½, separadas cada una 2.5 cm de la otra, además se cuenta con una bandeja de escurrimiento construida en lámina metálica perforada con calibre de 0.035 m.

Tabla 22. (Continuación).

Proceso	Descripción
Canaleta Parshall	<p>Construida en concreto con un ancho de garganta de 6 pulgadas provista de una regleta graduada en centímetros, por medio la cual, se realiza el aforo de caudal de ingreso a las lagunas facultativas.</p>
Lagunas Facultativas (General)	<p>El tratamiento secundario está compuesto por dos lagunas facultativas, las cuales utilizan el comensalismo entre algas y bacterias en el estrato superior y descomposición anaerobia de sólidos sedimentados localizados en el fondo de la estructura</p>
Laguna Facultativa 1	<p>Cuenta con dos entradas superficiales mediante tuberías de 12 pulgadas de diámetro, una pantalla deflectora central y una estructura se salida en concreto reforzado.</p>
Laguna Facultativa 2	<p>Cuenta con un fondo plano en arcilla compactada, dos entradas superficiales mediante tuberías de 12 pulgadas de diámetro y tres pantallas deflectoras</p>
Cabezal de Entrega	<p>Salida superficial construida en concreto reforzado, cuenta con un vertedero rectangular de pared delgada a base de fibra de vidrio, tapa de rejilla y una tubería de salida de 21 pulgadas de diámetro.</p>

Nota. Elaborado a partir de la información presentada en Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022). INFORME DE VIGILANCIA O INSPECCIÓN ESPECIAL, DETALLADA O CONCRETA.

Una vez el recurso hídrico pasa por este sistema de tratamiento de agua se analizan los parámetros de salida aguas abajo del vertimiento de la PTAR, de acuerdo a los requerimientos del Decreto 1076 de 2015 según el artículo 2.2.3.3.9.5 Transitorio Criterios de calidad para uso agrícola, los cuales se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23.*Criterios calidad para uso del agua en cultivos aguas debajo de la PTAR del municipio de Chocontá.*

Parámetro	Límite Permisible (mg/L)	Resultado (mg/L) ^a	Cumplimiento
Aluminio	5.0	0.1606	Sí
Arsénico	0.1	<0.04	Sí
Berilio	0.1	<0.01	Sí
Cadmio	0.01	0.03	No
Cinc	2.0	<0.04	Sí
Cobalto	0.05	<0.01	Sí
Cobre	0.2	<0.01	Sí
Cromo	0.1	0.2	No
Flúor	1.0	-	-
Hierro	5.0	1.6572	Sí
Litio	2.5	<0.01	Sí
Manganeso	0.2	0.1135	Sí
Molibdeno	0.01	<0.01	Sí
Níquel	0.2	<0.02	Sí
pH	4.5 – 9.0 unidades	7.23	Sí
Plomo	5.0	0.04	Sí
Selenio	0.02	0.04	No
Vanadio	0.1	<0.02	Sí
Boro	0.3 – 4.0	<0.04	Sí
Coliformes totales	< 5000 NMP	175800	No
Coliformes fecales	<1000 NMP	16000	No

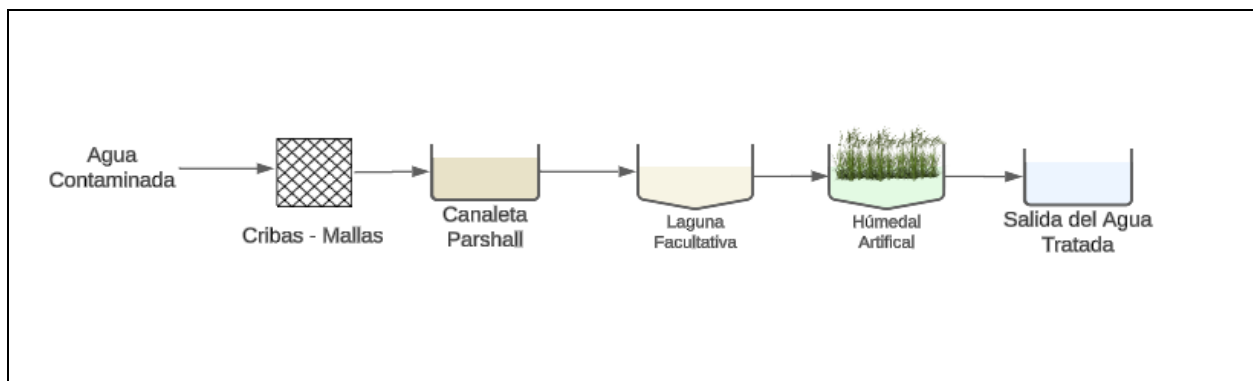
Nota. Elaborado a partir de la información suministrada por la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental (DLIA) de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y el Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.5 Transitorio Criterios de calidad para uso agrícola.

^a Los datos presentados son del año 2023.

Con base a la información previamente compartida de la PTAR, dentro de la estrategia de gestión hídrica, se propone la estructura presentada en la Figura 9 para mejorar la eficiencia en cuanto al tratamiento de metales pesados, coliformes totales y fecales presentes en el agua y la carga orgánica que tiene el Río Bogotá, además de presentar la ubicación de la PTAR de Chocontá y otros puntos de interés mencionados a lo largo del documento en la Figura 10.

Figura 9.

Propuesta de mejora para la PTAR en Chocontá.

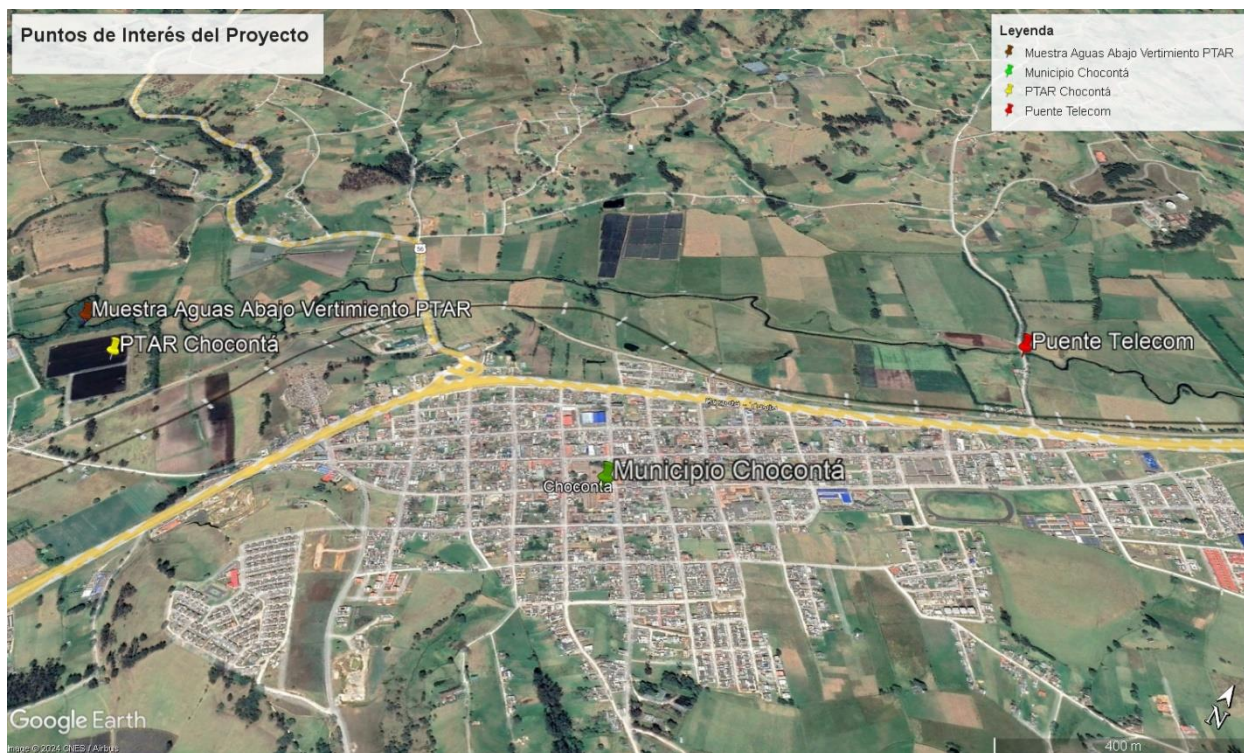


Nota. Elaborador por el autor con base a las respuestas de los expertos y la PTAR actual del municipio de Chocontá.

Para dar alcance al cumplimiento normativo del Decreto 1076 de 2015, se requiere implementar en la PTAR actual de Chocontá una estrategia que permita la remoción de metales pesados y coliformes totales y fecales, por tal motivo según la literatura un sistema de humedal artificial sería ideal para tratar este tipo de agua, debido a que, estos sistemas tienen una alta eficiencia en fijación de metales pesados y una alta eficiencia en la eliminación de coliformes fecales (Ang et al., 2023; Delgadillo et al., 2010).

Figura 10.

Puntos de interés del proyecto

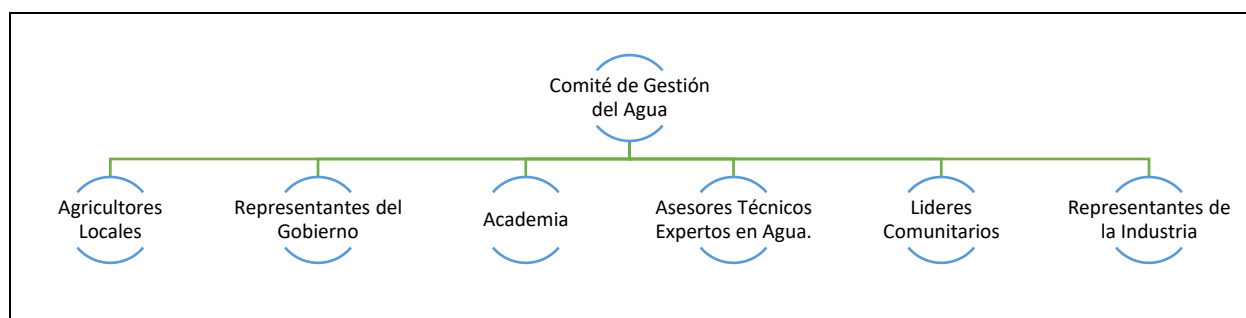


Nota. Elaborado a partir de Google Earth para presentar los puntos de interés que se han trabajado a lo largo del proyecto de investigación.

5.3.2.d Implementación y gestión. Teniendo en cuenta las respuestas de los expertos consultados y previamente haber establecido el comité de gestión del agua, estos últimos serán los encargados de supervisar y hacer seguimiento de las medidas propuestas, garantizando de esta forma la participación de múltiples actores involucrados de forma directa o indirecta en las actividades que requiera la estrategia de gestión hídrica propuesta. En la Figura 11 se presentan los miembros del comité de gestión del agua para Chocontá.

Figura 11.

Miembros del Comité de Gestión del Agua.



Nota. Elaborado de acuerdo con los comentarios de los expertos consultados.

5.3.2.e Actores clave de la estrategia de gestión hídrica propuesta. Los actores involucrados en la presente estrategia de gestión hídrica son las entidades, organizaciones, grupos y personas que tienen un interés, responsabilidad o algún grado de influencia en la planificación, implementación y éxito de la gestión del recurso hídrico. En la Tabla 24 se presentan los actores clave para la presente propuesta con su respectivo rol.

Tabla 24.

Actores clave para la estrategia de gestión hídrica

Actor Clave	Descripción del Rol	Alcance
Gobierno	Proporciona el marco regulatorio y políticas públicas necesarias para la gestión hídrica.	Directo
Entidades Ambientales	Supervisa y regula el cumplimiento de las normas ambientales relacionadas con el uso del agua.	Directo
Industria	Implementa prácticas sostenibles y reduce los vertimientos contaminantes en el río.	Directo
Comunidad Aledaña	Participa activamente en la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos.	Directo

Tabla 24. (Continuación).

Actor Clave	Descripción del Rol	Alcance
Instituciones Educativas	Proporcionan investigación, educación y capacitación sobre técnicas de manejo y conservación del agua.	Directo
Prestadores de Servicios Públicos	Gestionan la infraestructura de agua y saneamiento para asegurar un suministro y tratamiento eficiente del agua.	Directo
Agricultores Locales	Adoptan prácticas agrícolas sostenibles y eficientes en el uso del agua.	Directo
Líderes Comunitarios	Promueven la participación y el compromiso de la comunidad en la gestión hídrica.	Directo
Asesores Técnicos	Ofrecen conocimientos especializados y apoyo técnico para la implementación de las estrategias de gestión hídrica.	Directo
Organizaciones No Gubernamentales	Facilitan la implementación de proyectos y programas de conservación del agua y educación ambiental.	Indirecto
Empresas Privadas	Apoyan financieramente y participan en iniciativas de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa.	Indirecto
Centros de Investigación	Realiza investigaciones y proporciona asesoría técnica para la gestión sostenible del agua.	Indirecto

Nota. Los roles no se limitan a lo mencionado en la tabla, estos pueden ser más amplios y ejecutados por varios actores a la vez.

5.3.2.f Importancia económica en la propuesta. Se requiere hacer una evaluación de carácter económico, el cual de alcance a una sostenibilidad en el tiempo de la implementación, ejecución y seguimiento de la estrategia, sin embargo, es evidente que en el caso de presentarse escases del recurso hídrico por un mal uso del mismo, se

afectara el crecimiento económico del municipio, debido a que el agua es un recurso vital para la producción, donde la tasa de crecimiento podría llegar a disminuirse en un 6% del Producto Interno Bruto (PIB) para el 2050 (Ortega-Ramírez & Gómez Caipa, 2024; United Nations Educational, 2016).

5.3.2.g Seguimiento y evaluación. Se debe incorporar al comité de gestión de agua al sistema de monitoreo que maneja actualmente la CAR, con la intención de que supervise el avance de la estrategia y mida su impacto de acuerdo con los indicadores de logro y gestión, con miras de determinar la eficiencia del uso del agua, cantidad de agua tratada, reducción de contaminantes en el río, y la sostenibilidad de la agricultura a lo largo del municipio de Chocontá. Paralelamente se deben ejecutar evaluaciones periódicas que permitan identificar los desafíos y oportunidades de mejora que permitan ajustar la estrategia y asegurar de esta manera un mejoramiento continuo de la misma.

5.4 Determinación de la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta seleccionada.

La propuesta sugerida es desarrollar e implementar un humedal artificial como estrategia de gestión hídrica para tratar las aguas del Río Bogotá, la razón principal es debido a las lecciones aprendidas por parte de la matriz de expertos, sumado a lo descrito en el marco teórico de algunas estrategias previamente evaluadas, sumado a esto los humedales artificiales permiten la depuración de aguas contaminadas principalmente por metales pesados y coliformes totales y fecales. Esta propuesta se basa principalmente en la capacidad que tienen los humedales artificiales para mejorar la calidad del agua por medio de procesos de filtración y depuración naturales, simulando de esta manera los procesos naturales (Ang et al., 2023; Challies & Newig, 2022; Delgadillo et al., 2010; Ortega Ramírez, 2019; Ortega-Ramírez et al., 2022).

A continuación, se evaluará la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta seleccionada, teniendo en cuenta aspectos tales como, las condiciones del posible diseño, la tecnología a utilizar, el impacto en la biodiversidad y la sostenibilidad a largo plazo del humedal artificial.

5.4.1 Evaluación de la viabilidad técnica

La viabilidad técnica de un humedal artificial para tratar el agua del Río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá, parte de la evaluación de aspectos clave, partiendo de las condiciones a tener en cuenta para el diseño y construcción del humedal, dependiendo del área disponible, el tipo de vegetación adecuada y el flujo de agua adecuado para que la filtración sea eficiente.

5.4.1.a Factores a tener en cuenta para el diseño y construcción del humedal artificial. Existen cuatro (4) factores clave principales a tener en cuenta para la determinación de las dimensiones de un humedal artificial, estos factores son: flujo del afluente (caudal), características del afluente, concentración y características a cumplir (Carvajal Arias et al., 2017). Estos cálculos pueden realizarse mediante las ecuaciones presentadas en la Tabla 25.

Tabla 25.

Ecuaciones para la construcción del humedal artificial.

Superficie del Humedal Artificial en m ²	Sección Transversal del Lecho en m ²
$A = \frac{Q * Ln \frac{C_0}{C_i}}{K_T * h * D}$	$A_c = \frac{Q_s}{K * \frac{dh}{ds}}$
<p>A = Superficie del humedal artificial en m² Q = Flujo afluente, en m³/día. C_0 = Concentración efluente (mg/l) C_i = Concentración afluente (mg/l) K_T = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. h = Profundidad del humedal D = Porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción).</p>	<p>A_c = Sección transversal en m² Q_s = Flujo afluente, en m³/día. K = Conductividad hidráulica en m/seg. $\frac{dh}{ds}$ = Pendiente en m/m.</p>

Nota. Para el caudal a la altura del puente de Telecom según Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR (2021), es de 14,351.04 m³/día, asimismo las ecuaciones presentadas fueron adaptadas de varios autores (Carvajal Arias et al., 2017; Delgadillo et al., 2010; Seoanez Calvo & Gutiérrez de Ojesto, 1999).

5.4.1.b Tecnología a aplicar. Los humedales basan su tecnología en el tipo de planta que se utilice para realizar el respectivo tratamiento de agua, por tal motivo es importante determinar qué tipo de contaminante o contaminantes se van a remover para así asegurar que la planta utilizada sea la correcta para el tratamiento, además se deben tener en cuenta factores tales como la ubicación, temperatura, viento, vegetación y la correlación entre la evaporación y precipitación en el humedal (Ortega Ramírez, 2019; Ortega-Ramírez et al., 2022).

Para la selección de plantas que se deben utilizar en el humedal artificial propuesto se establecen tres (3) recomendaciones a tener en cuenta para asegurar un proceso adecuado y eficiente:

- Es importante hacer uso de especies locales y autóctonas de la región de Chocontá, Cundinamarca y/o sus alrededores a la cuenca alta del Río Bogotá.
- Las especies de plantas a utilizar, deben crecer naturalmente en humedales o a la ribera del Río Bogotá, debido a que estas plantas ya se encuentran adaptadas a crecer en las condiciones a las que serán sometidas.
- Las plantas deben ser capaces de soportar cortos periodos de sequía y temporadas de inundación y encharcamiento del suelo.

Para la selección de la planta, se tiene en cuenta el estudio realizado por Pérez de Arco & Castelblanco Lancheros (2019), en donde se establece las diferentes especies de plantas acuáticas en los diferentes humedales de Bogotá, así como su capacidad de remoción de metales pesados, dando como resultado que, para las condiciones actuales del recurso hídrico en Chocontá, las mejores opciones serían las especies presentadas en la Tabla 26.

Tabla 26.*Especies ideales para el humedal artificial*

Especie	Descripción	Referencia
<i>Lemma gibba (Lenteja de Agua)</i>	Tiene gran capacidad para la retención de Cu y As, además también tiene capacidades de acumulación de Pb, Cd, Ni, Cr y Fe, siendo la raíz mayor acumuladora que las hojas.	(Khan et al., 2009; Megateli et al., 2009; Rahman et al., 2011)
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Tiene capacidad de remoción del 80% para el Zn, 90% para el Hg, 64% para el Cr y 96% para el As.	(Marchand et al., 2010; Sundberg et al., 2006)
<i>Typha domingensis (Junco totora)</i>	Tiene una eficiencia de retención de 99.6% de Hg, además retiene Ca, Cr, Fe, Zn, Ni, Cd, Cr III, Co y Mg.	(Di Luca et al., 2011; Gomes et al., 2014; Hadad et al., 2006; Maine et al., 2007)
<i>Typha Latifolia^a</i>	Tiene una capacidad de remoción ^b de metales pesados tales como el Cu (33%), Cd (51%), Cr (43%), Ni (39%), Fe (34%), Pb (46%) y Zn (28%).	(Kumari & Tripathi, 2015)

Nota. Adaptado de (Pérez de Arco & Castelblanco Lancheros, 2019) y (Agencia de Cooperación Internacional de Alemania GIZ & Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN, 2011).

^a Para la estrategia de gestión hídrica, teniendo en cuenta los contaminantes presentes en las muestras entregadas por la Dirección de Laboratorios de la CAR, y contrastando con el Decreto 1076 de 2015, se recomienda el uso de la *Typha Latifolia* para la construcción del humedal.

^b Las concentraciones iniciales de los metales que no cumplen actualmente la norma son: Cadmio (<0.03 mg/L), Cromo (0.2051 mg/L) y Selenio (<0.04 mg/L).

En cuanto a la disposición del humedal artificial es importante que este se desarrolle de manera vertical, esto se debe a que en este sistema las aguas se

suministran hacia el humedal desde arriba usando un sistema de dosificación por goteo, en donde este tipo de configuración de humedal puede llegar a tener un 99.9% de remoción de coliformes totales y fecales (Arias et al., 2005; Delgadillo et al., 2010; Garcia Serrano & Corzo Hernández, 2008), lo cual sería el segundo componente más contaminante presente en el Río Bogotá, y de esta forma se daría alcance al tratamiento necesario para hacer uso del agua en riego de cultivos en el municipio de Chocontá.

5.4.2 Evaluación de la viabilidad ambiental

El desarrollo de un humedal artificial en el municipio de Chocontá puede plantear diversos beneficios ambientales positivos, entre los cuales se pueden encontrar la mejora de la calidad del agua, la recuperación y/o mantenimiento de servicios ecosistémicos, captura de aguas lluvias y control de agua durante periodos de sequias (EPA, 2024). Por otro lado, los humedales artificiales también pueden actuar como sumideros de carbono, siendo de esta forma una estrategia de mitigación frente al calentamiento global (Iqbal & Shang, 2020).

Teniendo en cuenta las opiniones de los expertos, y partiendo del hecho que el humedal propuesto es elaborado a partir de recursos naturales, que permiten el tratamiento adecuado y eficiente del recurso hídrico de aproximadamente 14,351.04 m³/día (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021), da paso a la educación y conciencia ambiental de la comunidad local, debido a que se requiere de programas de monitoreo y mantenimiento comunitario que de alcance a la sostenibilidad a largo plazo que plantea esta estrategia de gestión del recurso hídrico, debido a que la vida útil de un humedal artificial oscila entre los 3 y 20 años (Brunhoferova et al., 2024; Steer et al., 2003).

5.4.3 Evaluación de quinta hélice del humedal artificial para Chocontá

La presente evaluación de quinta hélice busca presentar la interacción y colaboración entre los sectores mencionados por los expertos orientados a maximizar los beneficios sociales, ambientales y económicos para la comunidad del municipio de Chocontá. Entre los sectores que conforman en análisis de triple cuenta se encuentra el área académica, gubernamental y empresarial, como actores participes en el desarrollo

e implementación del proyecto. A continuación, se presenta la Tabla 27 con las respectivas contribuciones de cada uno de los sectores hacia la construcción del humedal artificial.

Tabla 27.

Evaluación de la quinta hélice del humedal artificial para Chocontá.

Sector	Contribución
Académico	Investigación y desarrollo: Investigaciones detalladas orientadas al diseño, construcción y mantenimiento del humedal artificial, donde se proporcione información fundamental para la implementación y desarrollo adecuado del proyecto.
Académico	<p>Monitoreo y evaluación: Monitoreo para evaluar la eficiencia del humedal propuesto.</p> <p>Capacitación y educación: Programas orientados a la formación y capacitación de la comunidad local, orientados a las prácticas de mantenimiento y monitoreo del humedal, así como también la importancia de la sostenibilidad y la adecuada gestión del recurso hídrico.</p> <p>Financiamiento y apoyo económico: El gobierno puede proporcionar fondos para la construcción y mantenimiento del humedal artificial propuesto.</p>
Gubernamental	<p>Regulación y políticas: Las autoridades gubernamentales tienen la capacidad de establecer marcos políticos que promuevan el uso de tecnologías limpias y sostenibles para el tratamiento de aguas para su respectivo uso en cultivos.</p> <p>Supervisión y cumplimiento: A través de la CAR, el gobierno tiene la capacidad de supervisar la correcta operación del humedal y garantizar que se cumpla el Decreto 1076 de 2015.</p>

Tabla 27. (Continuación).

Sector	Contribución
Empresarial	<p>Innovación tecnológica: Las empresas tienen la posibilidad de aportar tecnologías innovadoras y soluciones prácticas que permitan mejorar la eficiencia del humedal artificial.</p> <p>Inversión privada: El sector privado tiene la posibilidad de invertir en desarrollo y expansión de nueva tecnología, en este caso sería en el humedal artificial, dando alcance a la creación de asociaciones público-privadas para financiar el proyecto de investigación.</p> <p>Responsabilidad social empresarial (RSE): Las empresas involucradas, deberán cumplir con los principios de la RSE, en donde contribuyan al crecimiento de la comunidad, a la vez que dan alcance a suplir las necesidades relacionadas con los recursos financieros, técnicos y humanos.</p>
Social	<p>Participa activamente en la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos.</p> <p>Organiza y participa en iniciativas comunitarias de gestión del agua.</p> <p>Promueve la educación y conciencia ambiental entre sus miembros.</p>
Ambiente	<p>Considerado como un actor pasivo, pero fundamental en la estrategia de gestión hídrica.</p> <p>Es el objetivo final de las acciones de conservación y gestión, garantizando la sostenibilidad y equilibrio ecológico.</p> <p>Proporciona servicios ecosistémicos que son esenciales para la vida y la economía de la región.</p>

Nota. La contribución puede ser de mayor alcance y no está limitada únicamente a lo escrito en la tabla.

5.5 Estimación de los costos asociados a la estrategia de gestión hídrica propuesta.

La elaboración del humedal artificial implica una cantidad de costos que deben considerarse para asegurar la viabilidad económica, por tal motivo, en la presente sección se proporciona una estimación de los costos asociados desde la implementación hasta su respectiva puesta en marcha, por tal motivo, se consideraron varios componentes clave junto con valores de referencia de estudios previos para dar alcance a la estimación de costos.

En cuanto al primer año, se debe tener en cuenta el diseño y la construcción, en donde los costos aproximados para un humedal de un (1) acre puede estar costando alrededor de \$12,695.52 dólares a 2024, y si este tiene una vida de 40 años, teniendo en cuenta una tasa de 4% de descuento y 20 años de mantenimiento, los costos anuales por el tiempo de vida sería aproximadamente 1,026.93 dólares (Christianson et al., 2013; Tyndall & Bowman, 2016). Sin embargo, todo depende de los múltiples factores que deben ser tenidos en cuenta para desarrollar el humedal artificial, por tal motivo en la Tabla 28 se presenta un consolidado de costos aproximados para dar alcance a la estrategia propuesta.

Tabla 28.

Costos estimados para el desarrollo de un humedal artificial.

Etapa del Humedal	Costo (USD)	Referencia
Estudios preliminares y diseño.^a		(Christianson et al., 2013;
Excavación y preparación del terreno.^a		Kadlec & Wallace, 2009;
Revestimientos impermeables.^a	\$92,909 - \$139,364	Mander & Jenssen, 2003;
Vegetación^a		Mitsch & Gosselink, 2015;
Construcción estructuras auxiliares.^b		Reddy & DeLaune, 2008;
Equipos de monitoreo.^a		Tyndall & Bowman, 2016;
		Vymazal, 2010)

Tabla 28. (Continuación).

Etapa del Humedal	Costo (USD)	Referencia
Mantenimiento regular.^a		(Christianson et al., 2013;
Monitoreo continuo.^a		Kadlec & Wallace, 2009;
Programas de capacitación.^b	\$16,103 – \$26,394	Mander & Jenssen, 2003;
Gestión comunitaria.^b		Reddy & DeLaune, 2008;
		Tyndall & Bowman, 2016;
		Vymazal, 2010)
		(Christianson et al., 2013;
		Kadlec & Wallace, 2009;
Capital Humano.^a	\$10,043 – \$15,609	Mander & Jenssen, 2003;
		Reddy & DeLaune, 2008;
		Tyndall & Bowman, 2016;
		Vymazal, 2010)
Total	\$119,055 - \$181,367^c	

Nota. Los valores se encuentran expresados en dólares americanos traídos al 2024 teniendo en cuenta la inflación de Estados Unidos.

^a Se refiere a los costos directos asociados al humedal artificial.

^b Se refiere a los costos indirectos asociados al humedal artificial.

^c Los costos presentados son orientadores y estimados a partir de literatura, dan paso para un estudio de prefactibilidad que de paso al diseño, construcción y puesta en marcha del proyecto en caso de tener capital económico.

Sumado a la estimación de costos de un humedal artificial, se deben considerar otros posibles costos de la gestión relacionada a la ejecución de la propuesta, estos al igual que los del humedal, con calculados a partir de bases de datos con salarios de profesionales en el sector que podrían cubrir las necesidades, así como comunicaciones personales con empresas del sector y se consignan en la Tabla 29.

Tabla 29.*Otros posibles costos asociados a la propuesta.*

Actividad	Costo (USD)^a	Referencia
Consultoría y Asesoría Técnica	5,323.85 – 21,301.12	Calculado con base a los salarios promedios de un año en la base de datos Talent de aquellos profesionales con el cargo Asesor Técnico y Consultor. Ley 344 de 1996 Congreso de la República de Colombia la cual señala el procedimiento y los métodos de cálculo de fijar las tarifas, la cual no será superior al 0.05% del valor del proyecto. Art. 28.
Permisos y Licencias	5,952.75 – 9,068.35	Calculado con base a los salarios promedios de un año en la base de datos Talent de aquellos profesionales con el cargo de Comunicador o Profesional en Marketing.
Comunicación y Divulgación.	5,029.44 – 13,429.50	Comunicaciones personales con empresas en el sector.
Auditorías y Evaluaciones Externas.	490.67 – 6,378.80	

Tabla 29. (Continuación).

Actividad	Costo (USD)	Referencia
Seguridad y Salud Ocupacional	3,753.68 – 9,813.54	Calculado con base a los salarios promedios de un año en la base de datos Talent de aquellos profesionales con el cargo Seguridad y Salud Ocupacional y profesiones a fines.
Total	20,550.39 – 59,991.31	

Nota. Los valores consignados son aproximaciones del costo por año, sirven como punto de partida para iniciar a estudiar la factibilidad del proyecto.

^a Los valores consultados se encontraban en pesos colombianos y se usó la siguiente conversión 1 COP = 4,076 USD, con la finalidad de mantener la uniformidad del documento.

5.5.1 Financiamento

Teniendo en cuenta lo mencionado por los expertos invitados, y partiendo del hecho que la inversión inicial esta entre el rango de \$119,055 - \$181,367 dólares aproximadamente, es importante buscar fuentes de financiamiento que den la solvencia económica necesaria para desarrollar el proyecto del humedal artificial. Esto se puede realizar por medio de fondos gubernamentales aplicando a programas de financiamiento a iniciativas ambientales y/o de recuperación del recurso hídrico, como también buscar la colaboración con organizaciones no gubernamentales y/o empresas privadas interesadas en la sostenibilidad ambiental.

6. CONCLUSIONES

El diagnóstico de la gestión hídrica actual de la Cuenca Alta del Río Bogotá, permitió identificar los diferentes desafíos ambientales que enfrenta la región en cuanto a contaminación del recurso hídrico por metales pesados y coliformes totales y fecales, que impactan negativamente al desarrollo de la agricultura que se desarrolla en los diferentes municipios por los que cruza el río, especialmente en el municipio de Chocontá.

La identificación de los parámetros hídricos adecuados para el uso en cultivos agrícolas en el municipio de Chocontá, de acuerdo al Decreto 1076 de 2015, específicamente el artículo 2.2.3.3.9.5 TRANSITORIO. Criterios de calidad para uso agrícola, permitió evidenciar que actualmente los cultivos del municipio se pueden encontrar contaminados por metales pesados (Cadmio, Cromo y Selenio) así como también contener niveles de Coliformes Totales y Coliformes Fecales veinte y diez veces por encima respectivamente, lo cual, afecta considerablemente la sostenibilidad y seguridad alimentaria de las diferentes comunidades que se abastecen de estos productos.

Proponer una estrategia de gestión hídrica para uso agrícola en el municipio de Chocontá, da alcance a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, así como también da paso a la innovación tecnológica, debido a que se requiere modernizar la infraestructura de riego e instalar un humedal artificial para tratar el agua contaminada, con la finalidad de reducir y/o mitigar la contaminación presente en el Río Bogotá, y así contribuir al crecimiento económico, por medio del cuidado y la educación ambiental y el bienestar social.

Se determinó que la viabilidad técnica y ambiental del humedal artificial vertical como estrategia de gestión hídrica es viable, lo cual permite dar alcance a la descontaminación de metales pesados por medio de *Typha Latifolia* como el Cobre (33%), Cadmio (51%), Cromo (43%), Niquel (39%), Hierro (34%), Plomo (46%) y Zinc (28%), junto con coliformes fecales y totales en hasta un 99%, los cuales actualmente son un problema social, económico y ambiental que debe solucionarse a como dé lugar,

teniendo en cuenta que el Río Bogotá da alcance a múltiples procesos agrícolas aguas abajo del municipio de Chocontá.

Por último, se estimaron los costos asociados a la implementación y desarrollo de un humedal artificial, teniendo un costo aproximado entre \$480,601,720 COP y \$744,330,168 COP, para el primer año, pero reduciéndose a casi un sexto de su costo inicial en los siguientes años, lo cual es positivo puesto que se estima que un humedal artificial tiene un ciclo de vida entre 3 y 20 años extensibles hasta los 40 años con un mantenimiento adecuado.

7. RECOMENDACIONES

Para la construcción del humedal artificial y dar alcance a la propuesta se debe hacer una evaluación ecosistémica y articularse al paso a paso estipulado por Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), quienes cuentan con una guía técnica para la adecuada construcción del humedal artificial según el tipo de agua residual y las necesidades de esta.

Es importante realizar estudios similares que permitan ampliar el ámbito geográfico en otras partes de la Cuenca Alta del Río Bogotá, con la finalidad de identificar patrones y estrategias efectivas que puedan ser replicadas y/o adaptadas en los diferentes contextos regionales por los cuales cruza el Río Bogotá, además, deben evaluarse los impactos sociales y económicos de la gestión hídrica, con la finalidad de proporcionar una visión completa en torno a la sostenibilidad de la estrategia propuesta.

Se requiere la implementación de programas de monitoreo a corto, mediano y largo plazo, que permitan la evaluación de la efectividad de la estrategia de gestión hídrica propuesta, con la finalidad de someterla a un proceso de mejora continua y de esta forma pueda adaptarse a las condiciones variables que presenta el Río Bogotá y la comunidad aledaña y/o que hace uso de este recurso.

Es indispensable fomentar la participación activa de las comunidades que estén involucradas de forma directa y/o indirecta con la gestión del agua del Río Bogotá, puesto que esto es un pilar fundamental para asegurar la apropiación adecuada del conocimiento y daría paso al éxito de la estrategia de gestión hídrica propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Abels, A., Lenaerts, T., Trianni, V., & Nowé. Ann. (2023). Dealing with Expert Bias in Collective Decision-Making. *Artificial Intelligence*, 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.13539>
- Acosta Castellanos, P. M., Caro Camargo, C. A., & Perico Granados, N. R. (2016). Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV. *Revista de Tecnología*, 14(2), 105–112. <https://doi.org/10.18270/rt.v14i2.1874>
- Acuña B, I., & Torres M, H. (2000). *El tizón tardío de la papa*.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cromo*.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades - ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Cadmio (Cadmium)*. ToxFAQs: Cadmio (Cadmium). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades - ATSDR. (2003). *Selenio (Selenium)*.
- Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia. (2012). *MANUAL DE FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL*.
- Aguilar Ibarra, A., & Pérez Espejo, R. H. (2007). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. *Problemas del Desarrollo - Revista Latinoamericana de Economía*, 39, 1–11.
- Albou, E. M., Abdellaoui, M., Abdaoui, A., & Ait Boughrou, A. (2024). Agricultural Practices and their Impact on Aquatic Ecosystems – A Mini-Review. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(1), 321–331. <https://doi.org/10.12912/27197050/175652>

- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, & Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2010). Guía para la gestión y manejo integral de residuos - Industria de Curtiembres y Tenerías. En *Alcaldía Mayor de Bogotá* (pp. 1–132).
- Alcaldía Municipal de Chocontá Cundinamarca. (2020). *¿PORQUE VISITAR CHOCONTÁ?*
- Alcaldía Municipal de Chocontá en Cundinamarca. (2018, enero 22). *Ubicación Geográfica*.
- Alonso, J. (2020). *El agua en la bolsa de valores: ¿protección o especulación?* | *Ciencia y Ecología | DW | 19.12.2020*. <https://p.dw.com/p/3mxxb>
- Alvarado-García, V., & Zúñiga-Amador, M. A. (2018). Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica, San José, Costa Rica. *La Calera*, 18(30), 39–47. <https://doi.org/10.5377/calera.v18i30.7738>
- Ang, S. Y., Goh, H. W., Mohd Fazli, B., Haris, H., Azizan, N. A., Zakaria, N. A., & Johar, Z. (2023). Heavy Metals Removal from Domestic Sewage in Batch Mesocosm Constructed Wetlands using Tropical Wetland Plants. *Water*, 15(4), 797. <https://doi.org/10.3390/w15040797>
- Aretz, D. (2022). *El río Bogotá, un río olvidado en el corazón del país*. | *El Espectador*. <https://blogs.elespectador.com/actualidad/las-palabras-y-las-cosas/rio-bogota-rio-olvidado-corazon-del-pais>
- Arias, C. A., Brix, H., & Marti, E. (2005). Recycling of Treated Effluents Enhances Removal of Total Nitrogen in Vertical Flow Constructed Wetlands. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 40(6–7), 1431–1443. <https://doi.org/10.1081/ESE-200055882>
- Banco Mundial. (2020). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>
- Banco Mundial. (2022, octubre 5). *Gestión de recursos hídricos: Panorama general*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement>

- Banseká, Y. J., & Tume, S. J. P. (2024). Coliform Bacteria Contamination of Water Resources and Implications on Public Health in Fako Division, South West Region, Cameroon. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 05(02), 1–13. <https://doi.org/10.21926/aeer.2402010>
- Barraza Macías, A. (2007). *La consulta a expertos como estrategia para la recolección de evidencias de validez basadas en el contenido* (pp. 1–10).
- Becerra-Perenguez, D. Y., Acosta-Astaiza, C. P., & Leyton-Luna, J. (2023). Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*, 20(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.10054>
- Berdugo Silva, N. C., & Montaña Renuma, W. Y. (2017). La educación ambiental en las instituciones de educación superior públicas acreditadas en Colombia. *Revista Científica General José María Córdova*, 15(20), 127. <https://doi.org/10.21830/19006586.178>
- Berumen, S. A., & Llamazares Redondo, F. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente*. 65–87.
- Bilalova, S., Newig, J., Tremblay-Lévesque, L.-C., Roux, J., Herron, C., & Crane, S. (2023). Pathways to water sustainability? A global study assessing the benefits of integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, 343, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118179>
- Bocos, E., Alfaya, E., Iglesias, O., Pazos, M., & Ángeles Sanromán, M. (2015). Application of a new sandwich of granular activated and fiber carbon as cathode in the electrochemical advanced oxidation treatment of pharmaceutical effluents. *Separation and Purification Technology*, 151, 243–250. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2015.07.048>
- Brunhoferova, H., Venditti, S., Hansen, J., & Gallagher, J. (2024). Life cycle performance and associated environmental risks of constructed wetlands used for micropollutant removal from municipal wastewater effluent. *Cleaner Environmental Systems*, 12, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100162>

- Burt, T. P., Howden, N. J. K., & Worrall, F. (2016). The changing water cycle: hydroclimatic extremes in the British Isles. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(6), 854–870. <https://doi.org/10.1002/WAT2.1169>
- Caballero, A., Gómez-Restrepo, C., & Rodríguez G, M. (2008). Conflictos de interés y sesgos de publicación; ¿un problema en la literatura psiquiátrica? *Epistemología filosofía de la mente y bioética*, 1–12.
- Callejas-Restrepo, M. M., Sáenz-Zapata, O., Plata-Rangel, Á. M., Holguín-Aguirre, M. T., & Mora-Penagos, W. M. (2018). El compromiso ambiental de instituciones de educación superior en Colombia. *Praxis & Saber*, 9(21), 197–220. <https://doi.org/10.19053/22160159.v9.n21.2018.8928>
- Capote Pérez, R., & Torres Páez, C. C. (2018). Mecanismos de financiamiento de proyectos medioambientales, un reto para la sostenibilidad. *Instituto de Información Científica y Tecnológica*, 20(2).
- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., & Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y Manejo Sostenible del Suelo en la Agricultura: Una Revisión Sistemática de Prácticas Tradicionales y Modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 1–28. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303>
- Carvajal Arias, C. E., Ortiz, P., & Vega Beltran, A. L. (2017). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicada en Tauramena, Casanare. *Revista de Tecnología*, 16(1), 65–76.
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA Línea de Agua y Medio Ambiente. (2018). *PROPUESTAS DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA, LA EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y EL REÚSO DEL AGUA EN COLOMBIA* . 1–164. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME_PROPUESTAS%20FINAL_18_05_18.pdf

- CEPAL, & Oxfam. (2019). *Los incentivos fiscales a las empresas en América Latina y el Caribe* (Naciones Unidas & Oxfam, Eds.).
- Cevallos Angulo, K. L. (2024). Soluciones tecnológicas para el Tratamiento de agua. Una aproximación desde las políticas públicas. *Dominio de las Ciencias*, 10(2), 460–480.
- Chafloque, W. L., & Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 9(17), 85–96. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v9i17.699>
- Chakraborti, L., & Shimshack, J. P. (2022). Environmental disparities in urban Mexico: Evidence from toxic water pollution. *Resource and Energy Economics*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101281>
- Challies, E., & Newig, J. (2022). Water, rivers and wetlands. En *Routledge Handbook of Global Environmental Politics* (pp. 512–525). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003008873-43>
- Chauhan, A. (2023). The Impact of Industrial Pollution on Water Quality in India's Major River: An Analytical Study. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 639–644. <https://doi.org/10.52783/tojqi.v11i2.9983>
- Chesa, M. J., & Girona, J. (2021). Estrategias para mejorar la eficiencia del riego. *XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*, 1–10.
- Christianson, L., Tyndall, J., & Helmers, M. (2013). Financial comparison of seven nitrate reduction strategies for Midwestern agricultural drainage. *Water Resources and Economics*, 2–3, 30–56. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2013.09.001>
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., ... Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global

- Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907–1918.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- Consejo de Estado. (2014). *Sentencia Río Bogotá*.
http://siriobogota.car.gov.co/assets/sentencia_rio_bogota.pdf
- Cooperación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2018). *AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ*.
- Corporación Autónoma Regional. (2018). *Río Bogotá*. https://www.car.gov.co/rio_bogota
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (s/f). *Estudio Ambiental*.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2020). *Plan de saneamiento y manejo de vertimientos*. <https://www.car.gov.co/vercontenido/1169#>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2018). *Biodiversidad*.
https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/4
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR. (2018). *DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR EROSIÓN EN LA CUENCA RIO GARAGOA-SUBCUENCA RIO MACHETÁ- JURISDICCION CAR A ESCALA 1:100.000*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5bdc6ea177cfc.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2021). *Cuenca Río Bogotá Evaluación Regional del Agua - ERA*.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR. (2022). *BOLETIN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA - ICA 2021*. 1–142.
<https://www.car.gov.co/uploads/blog/Ny82KWMTeM.jpeg>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (s/f). *Problemática - Río Bogotá*. https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/5
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, & Hidrovias S.A.S. (s/f). *Caracterización Ambiental V4*.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO Y NARE “CORNARE”. (2022). *PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO – PORH*. <https://www.cornare.gov.co/plan-de-ordenamiento-del-recurso-hidrico-porh/>

Dalstein, F., & Naqvi, A. (2022). 21st Century water withdrawal decoupling: A pathway to a more water-wise world? *Water Resources and Economics*, 38. <https://doi.org/10.1016/J.WRE.2022.100197>

DANE. (2020). *Boletín Técnico Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*.

DANE. (2023). Boletín Técnico Producto Interno Bruto (PIB). *Boletín Técnico - DANE Información para todos*, 1–51. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-de>

de Boer, C., Vinke-de Kruijf, J., Özerol, G., & Bressers, H. (2016). Collaborative Water Resource Management: What makes up a supportive governance system? *Environmental Policy and Governance*, 26(4), 229–241. <https://doi.org/10.1002/eet.1714>

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. En *Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)* (pp. 1–115). Universidad Mayor de San Simón.

Delgado, D., Palma, V., & Iannacone, J. (2023). Eficacia de dos sistemas de riego por goteo para el cerco vivo de *Parkinsonia aculeata linnaeus*, en el refugio de vida silvestre Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Campus*, 28(35), 139–150. <https://doi.org/10.24265/campus.2023.v28n35.11>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2023, marzo 31). *Cuentas nacionales departamentales: PIB por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>

Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026*.

- Di Luca, G. A., Maine, M. A., Mufarrege, M. M., Hadad, H. R., Sánchez, G. C., & Bonetto, C. A. (2011). Metal retention and distribution in the sediment of a constructed wetland for industrial wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 37(9), 1267–1275. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.003>
- Díaz-Casallas, D. M., Castro-Fernández, M. F., Bocos, E., Montenegro-Marin, C. E., & González Crespo, R. (2019). 2008 - 2017 Bogota River Water Quality Assessment Based on the Water Quality Index. *MDPI - Sustainability*, 1–17. <https://doi.org/10.3390/su11061668>
- Díaz-Martínez, J. A., & Granada-Torres, C. A. (2018). Effect of anthropic activities on the physicochemical and microbiological characteristics of the Bogotá river along the municipality of Villapinzón-Cundinamarca. *Revista Facultad de Medicina*, 66(1), 45–52. <https://doi.org/10.15446/REVFACMED.V66N1.59728>
- Díaz-pulido, A. P., Chingaté-Hernández, N., Muñoz-Moreno, D. P., Olaya-González, W. R., Perilla-Castro, C., Sánchez-Ojeda, F., & Sánchez-González, K. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Estudios Socio-Jurídicos*, 1, 84–116.
- DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO. (2018). *GUÍA PARA EL ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO CONTINENTAL SUPERFICIAL*.
- Duque Gutiérrez, M., & Montes del Olmo, C. (2011). Los Servicios de los Ecosistemas de Chocontá: Un Ejercicio de Percepción con Sus Habitantes. *Nova*, 9(16), 170–176. <https://doi.org/10.22490/24629448.500>
- EITiempo. (2014). *Condenan a la Nación por contaminación del río Bogotá*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13745376>
- Environmental Protection Agency - EPA. (2023). *Urban Waste Water Treatment in 2022*.
- EPA. (2024, marzo 11). *Wetlands. Why are Wetlands Important?* <https://www.epa.gov/wetlands/why-are-wetlands-important>

- Esparaza, E., & Gamboa, N. (2001). Contaminación Debida a la Industria Curtiembre. *Revista de Química, XV*(1), 1–24.
- Espejel Rodríguez, A., & Flores Hernández, A. (2012). Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México. *Revista mexicana de investigación educativa, 17*(55).
- Espinoza_Rivas, G. R., Cárdenas_Catalán, J. A., & Echeagaray_Peña, N. G. (2022). Presencia de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Llallimayo, departamento de Puno. *C&T Riqchary Revista de investigación en ciencia y tecnología, 4*(1), 12–19. <https://doi.org/10.57166/riqchary/v4.n1.2022.83>
- Estevan, A., & Sánchez-Colomer, M. G. (2007). El consumo de energía en la desalación de agua de mar por ósmosis inversa: situación actual y perspectivas. *Ingeniería Civil, 1*–9.
- Fernández, M. D. F. (2017). EL SESGO DE CONFIRMACIÓN COMO INCONMENSURABILIDAD. MICROFUNDAMENTANDO EL “EFECTO CONTRARIAN”. *VIII Congreso Nacional de Estudiantes de Postgrado en Economía*.
- Gallini, S., Felacio, L., Agredo, A., & Garcés, stephanie. (2018). *Waste and water pollution | Environment & Society Portal*. <https://www.environmentandsociety.org/exhibitions/water-bogota/waste-and-water-pollution>
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.
- Garrick, D. E., & Hahn, R. W. (2021). An economic perspective on water security. En *Review of Environmental Economics and Policy* (Vol. 15, Número 1, pp. 45–66). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1086/713102>
- Gerszon Mahler, D., Friedman, J., Lugo, M. A., & Sharma, D. (2018, octubre 30). *¿La pobreza monetaria capta todos los aspectos de la pobreza?* Grupo Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/voices/la-pobreza-monetaria-capta-todos-los-aspectos-de-la-pobreza>

- Gomes, M. V. T., de Souza, R. R., Teles, V. S., & Araújo Mendes, É. (2014). Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland. *Chemosphere*, 103, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.071>
- Gonzalez Arizaga, L. A., Alvarado Valenzuela, C., Vazquez Angulo, J. C., Ceceña-Durán, C., Suarez Hernandez, A. M., González-Mendoza, D., Bazante Gonzalez, I., Grimaldo-Juárez, O., Tzintzun Camacho, O., Cárdenas Salazar, V., & Mendoza Gomez, A. (2019). *La rotación de cultivos como estrategia de manejo y control de la marchitez en alfalfa*. OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.400>
- Gonzalez, J. (2023). Tecnologías avanzadas del tratamiento de agua. *Universidad de la Guajira - Facultad de Ingeniería*, 1–14.
- Griffiths, M. R., & Lucas, J. R. (2016). Corporate Social Responsibility and Business Ethics. En *Value Economics* (pp. 213–226). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/978-1-137-54187-1_11
- Grupo Banco Mundial. (2016). *Por qué los bosques son fundamentales para el clima, el agua, la salud y los medios de subsistencia*. Por qué los bosques son fundamentales para el clima, el agua, la salud y los medios de subsistencia. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/03/18/why-forests-are-key-to-climate-water-health-and-livelihoods>
- Grupo Banco Mundial. (2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- Guarda-Saavedra, P., Muñoz-Quezada, M. T., Cortinez-O'ryan, A., Aguilar-Farías, N., & Vargas-Gaete, R. (2022). Beneficios de los espacios verdes y actividad física en el

- bienestar y salud de las personas. *Revista médica de Chile*, 150(8), 1095–1107.
<https://doi.org/10.4067/S0034-98872022000801095>
- Hadad, H. R., Maine, M. A., & Bonetto, C. A. (2006). Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. *Chemosphere*, 63(10), 1744–1753. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.09.014>
- Hernández González, D. F., Lara Serna, L., & Martínez Herrera, B. M. (2024). Bonos verdes: potencial financiamiento para proyectos regionales-ecológicos-ambientales. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1972>
- Holden, J., Haygarth, P. M., MacDonald, J., Jenkins, A., Sapiets, A., Orr, H. G., Dunn, N., Harris, B., Pearson, P. L., McGonigle, D., Humble, A., Ross, M., Harris, J., Meacham, T., Benton, T., Staines, A., & Noble, A. (s/f). *Agriculture's impacts on water quality*.
- IFAD. (2023). Technical Note Development of Irrigation Infrastructure. *WATER AND RURAL INFRASTRUCTURE*, 1–20.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2022*.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2024, enero 26). *Educación Ambiental: conocimiento y acción para salvaguardar el planeta*. <https://www.gob.mx/imta/articulos/educacion-ambiental-conocimiento-y-accion-para-salvaguardar-el-planeta>
- International Union for Conservation of Nature. (2020). ENSURING EFFECTIVE NATURE-BASED SOLUTIONS. *IUCN - ISSUES BRIEF*, 1–2.
- Iqbal, A., & Shang, Z. (2020). Wetlands as a Carbon Sink: Insight into the Himalayan Region. En *Carbon Management for Promoting Local Livelihood in the Hindu Kush Himalayan (HKH) Region* (pp. 125–144). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20591-1_7
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *TREATMENT WETLANDS* (2nd ed.). CRC Press.

- Khan, S., Ahmad, I., Shah, M. T., Rehman, S., & Khaliq, A. (2009). Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3451–3457. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.026>
- Kumari, M., & Tripathi, B. D. (2015). Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.034>
- La Paiz, L., & López-Lambas, M. E. (2010). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DEL TRANSPORTE*. 1–23.
- Ley 99 de 1993, 1 (1993). <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>
- Lima, S., Brochado, A., & Marques, R. C. (2021). Public-private partnerships in the water sector: A review. *Utilities Policy*, 69, 101182. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101182>
- Liu, C., Zhao, X., Faria, A. F., Deliz Quiñones, K. Y., Zhang, C., He, Q., Ma, J., Shen, Y., & Zhi, Y. (2022). Evaluating the efficiency of nanofiltration and reverse osmosis membrane processes for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances from water: A critical review. *Separation and Purification Technology*, 302, 122161. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122161>
- Lluís Carrasco, J., & Jover, L. (2004). Métodos estadísticos para evaluar la concordancia. *Medicina Clínica*, 122, 28–34. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-metodos-estadisticos-evaluar-concordancia-13057543>
- Maine, M. A., Suñe, N., Hadad, H., Sánchez, G., & Bonetto, C. (2007). Removal efficiency of a constructed wetland for wastewater treatment according to vegetation dominance. *Chemosphere*, 68(6), 1105–1113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.01.064>

- Mander, Ü., & Jenssen, P. D. (2003). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates*. Universidad de Michigan.
- Manos Verdes. (2020). *Importancia de contaminación del río Bogotá*. <https://www.manosverdes.co/contaminacion-del-rio-bogota-impacto/>
- Manterola, C., & Otzen, T. (2015). Los Sesgos en Investigación Clínica. *International Journal of Morphology*, 33(3), 1156–1164. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000300056>
- Marchand, L., Mench, M., Jacob, D. L., & Otte, M. L. (2010). Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review. *Environmental Pollution*, 158(12), 3447–3461. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.08.018>
- Márquez Delgado, D. L., Hernández Santoyo, A., Márquez Delgado, L. H., & Casas Vilardell, M. (2021). LA EDUCACIÓN AMBIENTAL: EVOLUCIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA HACIA LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE. *UNIVERSIDAD Y SOCIEDAD*, 13(2), 1–10.
- Martin, L., & Bautiste Justo, J. (2015). *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe*.
- Martínez García, A. (2020). Por una gestión hídrica responsable ante la crisis climática. *Economistas - Colegio de Madrid*, N° 167-168, 212–217.
- McCornick, P., & Salzberg, A. (2020). *Agriculture's Achilles' Heel: Water Insecurity Is the Greatest Threat to Sustaining Global Food Production*.
- Megateli, S., Semsari, S., & Couderchet, M. (2009). Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by Lemna gibba. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(6), 1774–1780. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.05.004>
- Méndez Sayago, J. A., Carreño Sayago, F., & Hernández Escolar, H. A. (2011). Confiabilidad y viabilidad para la reutilización de los efluentes de las Ptar que operan con lagunas de estabilización en cundinamarca. *Producción + Limpia*, 6(1), 35–49.

- Mier-Tous, J.-M., Pineda-Vides, F., Hernández-Ureche, J., Troncoso-Palacio, A., Andrade-Perez, J., & Padilla-Barrios, J.-I. (2023). Una Revisión Preliminar de la Literatura Sobre los Retos en la Agricultura Sostenible de América Latina. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 5(1), 95–105. <https://doi.org/10.17981/bilo.5.1.2023.09>
- Milena Díaz-Casallas, D., Fernando Castro-Fernández, M., Bocos, E., Enrique Montenegro-Marin, C., & González Crespo, R. (2019). Bogota River Water Quality Assessment Based on the Water Quality Index. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11061668>
- Ministerio de Agricultura. (s/f). *Infraestructura*. Infraestructura, Tecnología y Gestión. Recuperado el 4 de junio de 2024, de <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura/#:~:text=Un%20sistema%20de%20riego%20puede,los%20requerimientos%20de%20los%20cultivos>.
- Ministerio de Ambiente - Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Política Nacional de Producción y Consumo*.
- Ministerio de Ambiente - Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s/f-a). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Recuperado el 25 de febrero de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s/f-b). *Restauración*. Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémico. Recuperado el 31 de mayo de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas/restauracion-2/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Conozca los beneficios tributarios para empresas que ayuden a proteger el medio ambiente*. Noticias.

<https://www.minambiente.gov.co/conozca-los-beneficios-tributarios-para-empresas-que-ayuden-a-proteger-el-medio-ambiente/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA*.
<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/cuenca-hidrografica/planes-de-ordenacion#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20POMCA%3F,y%20manejo%20de%20tales%20recursos.>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2018). *GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA*.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5th ed.). John Wiley & Sons Inc.

Montaño Sanz, B. (2019). EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y LA ESCASEZ HÍDRICA . *Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad Temática: economía del agua* , 1–14.

Naciones Unidas. (s/f). *El refuerzo y la revitalización de las alianzas mundiales para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: tres soluciones para garantizar el abastecimiento seguro de agua y mantener el crecimiento*. Crónica ONU. Recuperado el 4 de junio de 2023, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-refuerzo-y-la-revitalizacion-de-las-alianzas-mundiales-para-alcanzar-el-objetivo-de-desarrollo>

Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. (2017, junio 20). *Así es el Río Bogotá*. <http://orarbo.gov.co/es4/el-observatorio-y-los-municipios/asi-es-el-rio-bogota>

OECD - Better Policies for Better Lives. (2024). *Ensuring compliance with environmental regulations in the Eastern Partnership countries*.

Ollero Ojeda, A. (2015). *GUÍA METODOLÓGICA SOBRE BUENAS PRÁCTICAS EN RESTAURACIÓN FLUVIAL*.

- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Mejorar el tratamiento de aguas residuales es crucial para la salud humana y los ecosistemas*. Programa para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/mejorar-el-tratamiento-de-aguas-residuales-es-crucial-para-la>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). *El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo*. <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s08.htm>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 14001:2015*.
- Organización Mundial de la Salud. (2022, marzo 21). *Agua para consumo humano*.
- Ortega Ramírez, A. T. (2019). *ESTRATEGIA PARA EL USO SOSTENIBLE DE AGUA DE PRODUCCIÓN PARA RIEGO DE SUELOS, ADAPTADA DE LA EXPERIENCIA DEL DESIERTO DE OMÁN A UN PATRÓN DE POZOS EN UN CAMPO COLOMBIANO* [Tesis de Maestría]. Universidad de América.
- Ortega-Ramírez, A. T., Angulo-De Castro, I., Becerra, N. L., Gómez Caipa, J. C., & Huerta-Quiñones, V. A. (2022). Use of Water from Petroleum Production in Colombia for Soil Irrigation as a Sustainable Strategy Adapted from the Oman Desert. *Sustainability*, 14(22), 14892. <https://doi.org/10.3390/su142214892>
- Ortega-Ramírez, A. T., & Gómez Caipa, J. C. (2024). Administración sostenible del recurso hídrico como modelo de desarrollo económico: caso Chocontá, Colombia. En A. T. Ortega-Ramírez & M. Reyes Tovar (Eds.), *Enfoques multidisciplinares hacia la sostenibilidad* (1a ed., pp. 145–244). Fundación Universidad de América. <https://doi.org/10.29097/9786289623604>
- Ortega-Ramírez, A. T., & Rodríguez, N. S. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/RCIN.5343>
- Ortega-Ramírez, A. T., & Triana-Moreno, D. (2021). El agua es vida. Una mirada ecofeminista. En *Ecotecnologías, crisis socioambiental y poscapitalismo* (pp. 163–

192). Fundación Universidad de América.
<https://doi.org/10.29097/9789585303072.05>

Oztaysi, B., Onar, S. C., & Kahraman, C. (2021). Waste disposal location selection by using pythagorean fuzzy REGIME method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(1), 401–410. <https://doi.org/10.3233/JIFS-219199>

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2021). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.

Peñaloza Palomeque, M. (2010). Teoría de las Decisiones. *Perspectivas*, 25, 227–240.

Pérez de Arco, K., & Castelblanco Lancheros, J. (2019). ESPECIES ACUATICAS DE LOS HUMEDALES DE BOGOTÁ, COLOMBIA CON CAPACIDAD PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON METALES PESADOS: REVIEW. *SUELOS ECUATORIALES*, 1, 84–95.

Pérez Vásquez, M. A. (2020). Retos de la política ambiental colombiana frente a los desafíos de la OCDE y los ODS. *Análisis Político*, 33(99), 101–120. <https://doi.org/10.15446/anpol.v33n99.90970>

Perfetti, J. J., Balcázar, Á., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. 1–247. www.bancoagrario.gov.co

Pinzón Uribe, L. F., & Sotelo Rojas, H. (2020). *Pollution analysis of the basin high in the Bogota River-Colombia*. <https://www.researchgate.net/publication/339210321>

Rahman, K. Z., Wiessner, A., Kusch, P., van Afferden, M., Mattusch, J., & Müller, R. A. (2011). Fate and distribution of arsenic in laboratory-scale subsurface horizontal-flow constructed wetlands treating an artificial wastewater. *Ecological Engineering*, 37(8), 1214–1224. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.016>

Ramírez, L. (2004). El modelo multiatributo para el cálculo de la demanda ponderada según necesidades y problemas sanitarios. *Primer Seminario Argentino de Geografía Cuantitativa.*, 1–21.

- Ramírez, L. C. C., Leal, L. C. S., & Salamanca, M. E. Q. (2018). Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá. *Nova*, 16(29), 71–89. <https://doi.org/10.22490/24629448.2691>
- Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203491454>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., & González Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo I2+D*, 16(2), 66–77.
- Rico-Ramírez, M. S., & Gómez-Caipa, J. C. (2021). Ecoturismo como alternativa de desarrollo económico, ambiental y cultural: un reto en calidad, formación y consolidación de la economía naranja. *Gestión y Ambiente*, 24(Supl3), 22–32. <https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.97336>
- Robles Garrote, P., & Del Carmen Rojas, M. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de las Lenguas*, 1–16.
- Romero López, T. de J., Lafargue Verdecia, D., González Díaz, O. A., & Medina Correa, E. (2015). Uso de ósmosis inversa en el hotel Breezes Jibacoa para la desalación de agua de consumo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 1–14.
- Ron, V., Peter, N., & Chris, T. (2001). *A Multicriteria Decision Support Methodology for Evaluating Airport Expansion Plans*.
- Salamanca-Cano, A. K., & Durán-Díaz, P. (2023). Stakeholder Engagement around Water Governance: 30 Years of Decision-Making in the Bogotá River Basin. *Urban Science*, 7(3), 81. <https://doi.org/10.3390/urbansci7030081>
- Sanabria Suárez, A. C., Montenegro Marín, C., Castro Fernández, M. F., & Díaz Casallas, D. M. (2017). Análisis multitemporal de los indicadores de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA) de la cuenca alta del río Bogotá (Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 13(22), 39–54. <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1751>

- Secretaría Distrital de Planeación. (2014). *Aproximacion a las implicaciones del fallo del consejo de estado sobre el Río Bogotá*. 1–76. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/aproximacion_a_las_implicaciones_del_fallo_del_consejo_de_estado_sobre_el_rio_bogota.pdf
- Seoanez Calvo, M., & Gutiérrez de Ojesto, A. (1999). *Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales*. Mundiprensa.
- Servín Niz, A. I., Ovkdo, M. O. D. S., Morel López, E., Caballero Casuriaga, O. L., Oliveira Geissenhoff, L., Oliveirá, F. C. de, & Duarte Aguilera, A. (2022). Cobertura de abonos verdes de verano como supresor de malezas en un sistema de rotación de cultivos utilizando *Pennisetum glaucum*. *Idesia (Arica)*, 40(2), 123–128. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000200123>
- Sharma, K., Gulati, R., Kour, A., & Sharma, P. (2022). Ecological impact of heavy metals on aquatic environment with reference to fish and human health. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(4), 1471–1484. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i4.3900>
- Silva, M. J., & Salinas Morales, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*, 9(1), 69–80. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>
- Silva Marrufo, O., Rodríguez Gamíz, K. N., Ortega Ramírez, A. T., & Morales Fonseca, D. M. (2023). *Caracterización físico-química del agua de riego para los procesos de biofortificación en cultivos de frijol. Caso Chocontá - Colombia*. 1–4.
- Soto Álvarez, G., Soto Benavides, M., Sáez Abarzúa, C., & Morales Miranda, M. (2013). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo*.
- Steer, D., Aseltyne, T., & Fraser, L. (2003). Life-cycle economic model of small treatment wetlands for domestic wastewater disposal. *Ecological Economics*, 44(2–3), 359–369. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00003-X)
- Sundberg, S. E., Hassan, S. M., & Rodgers, J. H. (2006). Enrichment of elements in detritus from a constructed wetland and consequent toxicity to *Hyalella azteca*.

Ecotoxicology and Environmental Safety, 64(3), 264–272.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.02.010>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022). *INFORME DE VIGILANCIA O INSPECCIÓN ESPECIAL, DETALLADA O CONCRETA* .

Tanveer, A., Ikram, R. M., & Ali, H. H. (2019). Crop Rotation: Principles and Practices. En *Agronomic Crops* (pp. 1–12). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_1

The World Bank. (2022). *Water in Agriculture*. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>

Tyndall, J., & Bowman, T. (2016). *Iowa Nutrient Reduction Strategy Best Management Practice Cost Overview Series*.

UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. www.unwater.org.

Unión Europea. (2014). *Análisis Multicriterio*. Evaluation Methodological Approach.

United Nations. (2023). *Integrated Water Resources Management (IWRM)*. <https://www.un.org/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

United Nations Educational, S. and C. O.-U. (2016). *Agua y empleo: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016*. UNESCO.

United States Environmental Protection Agency - EPA. (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con luz ultravioleta* .

Uzoaru, O., & Ntente, I. (2021). COMMUNITY BASED ENVIRONMENTAL EDUCATION A STRATEGY FOR MITIGATING IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON LIVELIHOOD OF RIVERINE COMMUNITIES IN RIVERS STATE. *International Journal of Weather, Climate Change and Conservation Research*, 1–10.

- Velázquez-Chávez, L. de J., Ortiz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A., Pámanes-Carrasco, G. A., Carrillo-Parra, A., & Pereda-Solís, M. Emilio. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, 1–13.
- Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, 2(3), 530–549. <https://doi.org/10.3390/w2030530>
- Xiuling, D., Qian, L., Lipeng, L., & Sarkar, A. (2023). The Impact of Technical Training on Farmers Adopting Water-Saving Irrigation Technology: An Empirical Evidence from China. *Agriculture*, 13(5), 956. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050956>
- Yang, S.-Q. (2022a). Water crisis in American continent and possible CRs. En *Coastal Reservoir Technology and Applications* (pp. 523–568). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90790-3.00012-2>
- Yang, S.-Q. (2022b). World water crisis and possible solutions. En *Coastal Reservoir Technology and Applications* (pp. 1–37). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90790-3.00001-8>

ANEXOS

ANEXO 1. Radicado No 20231080261 del 17 de agosto de 2023.



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental
República de Colombia

Mosquera,

Señor
JUAN CAMILO GOMEZ CAIPA
Tel: 6013376680
juan.gomez@profesores.uamerica.edu.co
Bogotá

CAR 22/08/2023 15:57
Al Contestar cite este No.: 20232071913
Origen: Dirección de Laboratorio e Innovación
Destino: JUAN CAMILO GOMEZ CAIPA
Anexos: Fol: 3

ASUNTO: Respuesta al radicado 20231080261: Solicitud de información para Investigación de Maestría.

Cordial saludo

En atención al radicado del asunto No. 20231080261 del 17 de agosto de 2023, la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental – DLIA, se permite informar que adjunto a la presente respuesta enviamos la información solicitada del municipio de Chocontá para el histórico de los años 2014-2022, el cual se envía en un (1) archivo en formato Excel editable para poder realizar los análisis estadísticos a lugar.

El archivo en Excel es el producto de la consolidación de información histórica que ha emitido la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental – DLIA, la cual tiene un proceso de estandarización y armonización.

Así las cosas, a continuación, se adjunta la información en el siguiente archivo Excel denominado "Choconta.xlsx" donde se encuentra la información para su consulta. En esta hoja de cálculo, se encuentran las siguientes variables de búsqueda de la información:

- **Muestra:** Corresponde al número consecutivo de muestra realizada en el laboratorio de análisis fisicoquímicos.
- **Informe:** Corresponde al número consecutivo de informe con el que se emiten los resultados de las muestras analizadas en el laboratorio de análisis fisicoquímicos.
- **Cliente:** Corresponde a las Direcciones o Usuarios Internos que solicitan realizar los análisis fisicoquímicos para determinados cuerpos de agua.
- **Programa:** Corresponde a los programas de monitoreo establecidos por la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental.
- **Municipio:** Corresponde a la jurisdicción municipal donde se realiza el monitoreo fisicoquímico.
- **Fecha muestreo:** Corresponde a la fecha en que se realizó la toma de muestras.
- **Fecha recepción:** Corresponde a la fecha en que se recibió en el laboratorio de análisis fisicoquímicos.



Territorio Ambiental Sostenible

Mosquera Avenida Troncal de Occidente No. 18-76 Manzana C - Conmutador: 5801111 ext 4300 - 4310 Ext: 4315 <https://www.car.gov.co>
Fax: 5189468 - Correo electrónico: sau@car.gov.co



- **Fecha reporte:** Corresponde a la fecha en que se emitió el reporte de los análisis fisicoquímicos.
- **Punto:** Corresponde a la descripción del lugar en el que se hizo la toma de muestras.
- **Caudal:** Corresponde al valor de caudal tomado in situ, expresado en L/s.
- **Lluvia:** Corresponde a la descripción de meteorológica del día de la toma de muestras, expresado en si hubo o no lluvias.
- **Tipo de agua:** Corresponde al tipo de agua que fue muestreada, entre las que se encuentran: superficial, residual, subterránea.
- **Tipo de muestreo:** Corresponde al tipo de muestreo realizado, el cual puede ser: puntual o compuesto.
- **Hora de toma:** Corresponde a la hora en la que se tomó la muestra.
- **Coordenadas:** Norte..Y.. / Este..X.. : Corresponde a la ubicación geográfica en la que se realizó el muestreo.
- **Altura:** Corresponde a la altitud en la que se tomo la muestra, expresada en msnm.
- **Parámetro:** Corresponde al parámetro realizado a la muestra tomada, puede ser in situ o en el laboratorio de análisis fisicoquímicos.
- **Unidades:** Corresponde a la magnitud en la que esta definida cada parámetro analizado.
- **Método:** Corresponde al método fisicoquímico usado en el laboratorio para la determinación de cada uno de los parámetros analizados.
- **Tipo de límite:** Corresponde a la validación del método analítico, los cuales pueden ser: Limite de cuantificación teórica – LTC y Limite de cuantificación del método – LCM
- **Límite:** Corresponde al valor obtenido luego de la validación realizada para el parámetro correspondiente.
- **Valor:** Corresponde al valor que arrojó el parámetro analizado, de la muestra tomada que puede ser in situ o en el laboratorio de análisis fisicoquímicos.

Con lo anterior esperamos se haya dado respuesta satisfactoria a su solicitud.

Atentamente,

EDWIN GIOVANI GARCIA MASMELA



Territorio Ambiental Sostenible

Mosquera Avenida Troncal de Occidente No. 18-76 Manzana C - Conmutador: 5801111 ext 4300 - 4310 Ext: 4315 <https://www.car.gov.co>
Fax: 5189468 - Correo electrónico: sau@car.gov.co



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental
República de Colombia

Director de Laboratorio e Innovación Ambiental

Respuesta a: 20231080261 del 17/08/2023

Anexos: 1 archivo adjunto

Elaboró: Jairo Andres Peñuela Moreno / DLIA



Territorio Ambiental Sostenible

Mosquera Avenida Troncal de Occidente No. 18-76 Manzana C - Conmutador: 5801111 ext 4300 - 4310 Ext: 4315 <https://www.car.gov.co>
Fax: 5189468 - Correo electrónico: sau@car.gov.co

GDO-PR-05-FR-06 VERSIÓN 5 10-07-2020

Pág. 3 de 3 Rad: 20232071913

ANEXO 2. CUESTIONARIO PARA MATRIZ DE EXPERTOS.

Cuestionario para Matriz de Expertos.

El presente cuestionario fue diseñado para que usted en calidad de experto invitado por medio de su experticia aporte sus conocimientos. Como bien es sabido el río Bogotá es un recurso invaluable para la región y se enfrenta a diversos desafíos ambientales y de gestión hídrica. Tu experiencia y perspectiva son esenciales para ayudarnos a tomar decisiones informadas y estratégicas para abordar estos problemas. Tu contribución será confidencial y anónima.

Por otra parte, me permito informarle que en cumplimiento de las disposiciones de la Ley 1581 de 2012 y del Decreto reglamentario 1377 de 2013 que desarrollan el derecho de habeas data, solicitamos su autorización para que, en calidad de responsable del tratamiento, podamos recopilar, almacenar, archivar, analizar, y disponer sus datos de contacto para fines estadísticos no comerciales.

** Indica que la pregunta es obligatoria*

1. Correo *

2. Nombre Completo *

3. Correo electrónico *

4. Documento de Identificación *

5. Por favor describa brevemente su perfil profesional, tenga presente que lo escrito en esta sección se copiara textualmente en la sección de perfil del experto en el documento de grado. Favor seguir el siguiente orden:
Carrera base, posgrado(s), experiencia en tiempo relacionado a gestión hídrica y/o manejo de cultivos, otros.

Criterios calidad del agua acorde al Decreto 1076 de 2015 para uso en cultivos en el municipio de Chocontá – Puente de Telecom (5°09'09.9"N 73°40'45.6"W).

Parámetro	Resultado Promedio (mg/L)
Aluminio	0.5571
Arsénico	<0.04
Berilio	<0.01
Cadmio	<0.03
Cinc	0.1469
Cobalto	<0.01
Cobre	<0.01
Cromo	0.2051
Flúor	<1.0
Hierro	2.0524
Litio	<0.01
Manganeso	0.1045
Molibdeno	<0.01
Níquel	<0.02
pH	7.3888
Plomo	<0.04
Selenio	<0.04
Vanadio	<0.02
Boro	0,026
Coliformes totales	102,537
Coliformes fecales	10,341

Nota: Los valores presentados en el promedio corresponden a al periodo 2014 - 2023

6. De los contaminantes expuestos en la imagen pondere del uno (1) al diez (10) siendo uno (1) el contaminante menos preocupante y diez (10) el contaminante más preocupante en términos de impacto ambiental y posibles complicaciones de salud pública presente en el río Bogotá (puede repetir los valores). *

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aluminio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arsénico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Berilio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cadmio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cinc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cobalto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cobre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cromo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Flúor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hierro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Litio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manganeso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Molibdeno	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Níquel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
pH	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plomo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Selenio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vanadio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Boro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Coliformes
totales

totales								
Coliformes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
totales								
Coliformes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
fecales								
Coliformes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
fecales								

7. Las siguientes estrategias técnicas-ambientales propuestas a continuación, serán * tenidas en cuenta, con la finalidad para reducir los contaminantes en el río Bogotá: Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá, Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua, Control más estricto de las descargas industriales. ¿Considera que hay otra u otras estrategias técnicas-ambientales deben tenerse en cuenta para este trabajo? (Si la respuesta es negativa favor responder No Aplica)

8. Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a las estrategias técnicas-ambientales expuestas, siendo uno (1) la que considere menos efectiva y cinco (5) la que considere más efectiva (puede repetir la valorización). *

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Aumento de la capacidad de tratamiento de aguas residuales.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Restauración de áreas verdes y afluentes cercanos al municipio de Chocontá.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Implementación de tecnologías avanzadas de filtración y purificación del agua.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Control más estricto de las descargas industriales.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otra (por favor, especifique)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Los siguientes desafíos técnicos y económicos serán considerados para la gestión hídrica del río Bogotá: Limitaciones presupuestarias, Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta, Contaminación industrial, Falta de cooperación entre entidades gubernamentales. ¿Considera que haya otro u otros desafíos técnicos y económicos a considerar? (Si la respuesta es negativa, favor responder No Aplica). *

10. Por favor asigne valores del uno (1) al cinco (5) a los desafíos técnicos y económicos, siendo uno (1) el que considere el menos apremiante y cinco (5) el que considere el más apremiante (puede repetir la valorización). *

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5
Limitaciones presupuestarias.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infraestructura de tratamientos de aguas obsoleta.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contaminación industrial.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de cooperación entre entidades gubernamentales.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otra (por favor, especifique)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Considerando la importancia de la participación de múltiples partes interesadas en la gestión hídrica, ¿qué actores o sectores deberían involucrarse activamente en la implementación de las estrategias técnico-ambientales mencionadas o propuestas en este formulario? ¿Por qué? *

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios