

Propuesta de Recuperación y Gestión de la Contaminación con Metales Pesados (Cromo y Plomo) utilizados en la Industria de Curtiembres en el Municipio de Villapinzón.

Carlos Julián Guarín Vargas

Heidy Yohana Herrera Barbosa

Mildred Liliana Monsalve Barragán

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias Ambientales

Bogotá D.C

2025

Propuesta de Recuperación y Gestión de la Contaminación con Metales Pesados (Cromo hexavalente y Plomo) utilizados en la Industria de Curtiembres en el Municipio de Villapinzón.

Carlos Julián Guarín Vargas

Heidy Yohana Herrera Barbosa

Mildred Liliana Monsalve Barragán

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

Dirigido por:

Nidia Elena Ortiz Penagos

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ciencias Ambientales

Bogotá D.C

2025

Agradecimientos

Este trabajo representa el cierre de un ciclo lleno de desvelos, compromisos y sacrificios, pero también de curiosidad, de anhelos por un mañana mejor y de lecturas que despertaron nuevas ideas. Marca un escalón más en nuestro camino, un propósito profesional hecho realidad.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, por acompañar cada uno de nuestros pasos, por creer en nuestras capacidades y ser el impulso que nos sostuvo en los momentos más exigentes.

Agradecemos a la Universidad Santo Tomás por brindar espacios de aprendizaje amenos. Queremos expresar de manera especial nuestro agradecimiento a nuestra directora de tesis, Nidia Elena Ortiz Penagos, cuya experiencia guio este camino con claridad académica y motivación.

Estamos convencidos de que lo aprendido será un recurso valioso para servir a otros, abrir nuevas puertas y dar pasos firmes y significativos en nuestra labor profesional y humana

Contenido

Lista de Mapas	7
Resumen.....	8
Glosario.....	10
1 Introducción	13
2 Objetivos.....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3 Antecedentes	18
4 Marco Teórico.....	22
4.1 Gestión del recurso hídrico	31
4.2 Enfoque teórico	33
4.2.1 Servicios Ecosistémicos Degradados.....	33
4.2.2 Enfoque de Producción Más Limpia (PML).....	33
4.2.3 Teoría de la Transición Socio-Técnica	33
4.3 Normatividad Asociada	34
Conceptos Claves.....	36
4.4 Responsabilidad Social Empresarial en la industria curtiembres	38
5 Metodología	40
6 Análisis y discusión de resultados	55
6.1 Información entregada por CAR Cundinamarca	61
6.2 Discusión.....	64

Referencias.....	85
Apéndice	91

Lista de Tablas

Tabla 1. Normatividad vigente en Colombia.....	34
Tabla 2 Puntos finales de toma de muestras	48
Tabla 3. Puntos de muestreo	55
Tabla 4 Resultados obtenidos en la primera campaña de toma de muestras	56
Tabla 5 Resultados obtenidos en la Segunda campaña de toma de muestras	56
Tabla 6 Datos referencia normatividad.....	57
Tabla 7 Resultados de análisis de cromo hexavalente y plomo entregado por la CAR....	61
Tabla 8 Datos de referencia informados por CAR.....	63

Lista de Figuras

Figura 1. Metodología aplicada	40
--------------------------------------	----

Lista de Imágenes

Imagen 1. Toma de muestras punto 1. Campaña 1	45
Imagen 2 Toma de muestras punto 2. Campaña 1	45
Imagen 3 Toma de muestras punto 3. Campaña 1	45
Imagen 4 Toma de muestras punto 4. Campaña 1	45
Imagen 5 Toma de muestras punto 5. Campaña 1	45
Imagen 6 Toma de muestras punto 6. Campaña 1	45
Imagen 7 Toma de muestras punto 7. Campaña 1	46
Imagen 8 Toma de muestras punto 8. Campaña 1	46
Imagen 9 Toma de muestras punto 9. Campaña 1	46
Imagen 10 Toma de muestras punto 10. Campaña 1	46
Imagen 12 Toma de muestras punto 2 - Campaña 2.....	47

Imagen 14 Toma de muestras punto 4 - Campaña 2.....	47
---	----

Lista de Mapas

Mapa 1. Cuenca del Río Bogotá	24
Mapa 2. Puntos de muestreo Villapinzón	42
Mapa 3 Puntos de toma de muestras	49
Mapa 4 Puntos toma de muestras.....	50
Mapa 5 Puntos toma de muestras.....	51
Mapa 6 Puntos toma de muestras.....	52
Mapa 7 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón.....	65
Mapa 8 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón parta alta y casco urbano	66
Mapa 9 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón.....	67
Mapa 10 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón.....	68
Mapa 11 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón.....	69

Resumen

El presente trabajo analiza la presencia de metales pesados (cromo y plomo) asociados a la industria curtidora de cueros en el municipio de Villapinzón, con el propósito de aportar insumos técnicos y de gestión para la mejora ambiental de la cuenca del Río Bogotá.

Se realizaron dos campañas de muestreo en puntos estratégicos del municipio, cuyos resultados fueron analizados en laboratorios acreditados y comparados con estudios previos de la autoridad ambiental. Los análisis evidenciaron que las concentraciones de los metales evaluados se encuentran por debajo de los límites normativos, aunque esto no implica su ausencia en el ecosistema.

La investigación destaca la posibilidad de bioacumulación de contaminantes en suelos y sedimentos, así como los riesgos derivados del uso continuo del agua en actividades económicas. En consecuencia, se propone fortalecer la educación ambiental, promover la cooperación entre entidades estatales, comunidad e industria curtidora, e impulsar proyectos de recuperación y gestión sostenible del recurso hídrico.

Este estudio constituye una herramienta de apoyo para la planificación ambiental y la gestión integral del recurso hídrico en Villapinzón, contribuyendo al cumplimiento de la sentencia del Río Bogotá y al mejoramiento de la calidad ambiental regional.

Palabras claves: Cromo, Curtiembres, Gestión, Plomo, Río Bogotá, Villapinzón.

Abstract

This study analyzes the presence of heavy metals (chromium and lead) associated with the leather tanning industry in the municipality of Villapinzón, with the aim of providing technical and management input for the environmental improvement of the Bogotá River basin.

Two sampling campaigns were conducted at strategic points within the municipality. The results were analyzed in accredited laboratories and compared with previous studies by the environmental authority. The analyses showed that the concentrations of the evaluated metals are below regulatory limits, although this does not imply their absence in the ecosystem.

The research highlights the possibility of bioaccumulation of contaminants in soils and sediments, as well as the risks arising from the continuous use of water in economic activities. Consequently, it proposes strengthening environmental education, promoting cooperation among state entities, the community, and the tanning industry, and fostering projects for the recovery and sustainable management of water resources.

This study constitutes a support tool for environmental planning and the integrated management of water resources in Villapinzón, contributing to compliance with the Bogotá River ruling and to the improvement of regional environmental quality.

Key Words: Chromium, Bogotá River, Management, Lead, Tanneries , Villapinzón.

Glosario

Abatimiento de contaminantes: Proceso mediante el cual se reduce la concentración o toxicidad de sustancias contaminantes en el ambiente, ya sea mediante tratamientos físicos, químicos o biológicos.

Aguas residuales: Líquidos provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales o agropecuarias que contienen contaminantes disueltos o suspendidos (Decreto 3930 de 2010).

Bioacumulación: Acumulación progresiva de sustancias tóxicas, como metales pesados, en los tejidos de los organismos vivos a lo largo del tiempo (EPA, 2020).

Biorremediación: Conjunto de técnicas que utilizan organismos vivos (hongos, bacterias, plantas o enzimas) para transformar o eliminar contaminantes del ambiente (Beltrán & Gómez, 2016).

Cromo (Cr): Metal pesado utilizado en el proceso de curtido de pieles. Su forma hexavalente (Cr^{6+}) es altamente tóxica, mientras que la forma trivalente (Cr^{3+}) es menos nociva (Pinzón, 2019).

Cuenca hidrográfica: Unidad territorial conformada por el conjunto de aguas superficiales y subterráneas que drenan hacia un mismo punto, regulando el ciclo hídrico local (Decreto 1076 de 2015).

Curtiembre: Industria encargada del tratamiento químico de pieles animales para convertirlas en cuero mediante el uso de sales, ácidos y compuestos minerales (MinSalud, 2015).

Efluente: Corriente líquida que sale de un sistema de tratamiento o de un proceso industrial y que puede contener contaminantes.

Fitorremediación: Técnica biotecnológica que emplea plantas hiperacumuladoras para remover, transformar o estabilizar metales pesados en suelos y aguas contaminadas (Beltrán & Gómez, 2016).

Gestión ambiental: Proceso integral que incluye la planificación, ejecución, seguimiento y evaluación de acciones orientadas a prevenir, mitigar o corregir impactos ambientales (MAVDT, 2010).

Gobernanza del agua: Sistema de reglas, instituciones y mecanismos de participación que permiten la toma de decisiones sobre el uso, conservación y distribución del recurso hídrico (Díaz Gil, 2020).

Lodos residuales: Material semisólido generado durante los procesos de tratamiento de aguas residuales o como resultado de sedimentación en cuerpos de agua contaminados (Pinzón, 2019).

Metales pesados: Elementos químicos con densidad elevada y alta toxicidad en bajas concentraciones, como plomo (Pb), cromo (Cr), mercurio (Hg) y cadmio (Cd) (WHO, 2017).

Norma ambiental: Conjunto de disposiciones legales que regulan las actividades humanas con el fin de prevenir, controlar y compensar impactos negativos sobre el ambiente (Ley 99 de 1993).

Producción Más Limpia (PML): Estrategia preventiva que busca minimizar la contaminación en el origen mediante la sustitución de insumos peligrosos, la optimización de procesos y el reciclaje interno (UNEP, 2011).

PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales): Instalación destinada a remover contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua antes de su vertimiento a cuerpos receptores.

Remediación ambiental: Conjunto de acciones dirigidas a recuperar un ambiente afectado por contaminación mediante procesos físicos, químicos o biológicos (PNUMA, 2011).

Responsabilidad Social Empresarial (RSE): Compromiso ético de las empresas de contribuir al desarrollo sostenible, equilibrando crecimiento económico, bienestar social y protección ambiental (Pasquero, 2005).

Sedimento: Material sólido acumulado en el fondo de cuerpos de agua, que puede contener contaminantes como metales pesados.

Servicios ecosistémicos: Beneficios directos e indirectos que los ecosistemas ofrecen al ser humano, incluyendo provisión de agua, regulación climática y soporte de biodiversidad (MEA, 2005).

Sostenibilidad ambiental: Capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (Brundtland, 1987).

Tasa retributiva: Instrumento económico que busca internalizar los costos ambientales mediante el cobro a quienes generan vertimientos o emisiones contaminantes (Decreto 3100 de 2003).

Toxicidad: Capacidad de una sustancia para causar daño a un organismo vivo, dependiendo de su concentración, tiempo de exposición y vía de ingreso.

Vertimiento: Descarga líquida, directa o indirecta, de sustancias contaminantes a cuerpos de agua, alcantarillados o al suelo (Decreto 3930 de 2010).

1 Introducción

El Río Bogotá, cruza una de las zonas más importantes para el desarrollo de la región y del país, ya que por esta se desarrollan importantes actividades, políticas, económicas, agrícolas e industriales. Sin embargo, la cuenca del Río Bogotá, a la cual pertenecen 46 municipios incluido el Distrito Capital y considerada el eje de desarrollo del departamento de Cundinamarca de la nación ha sido intervenida y afectada ambientalmente por años, lo que ha generado que el Río Bogotá sea considerado uno de los más contaminados del mundo (Díaz Gil, 2020). La cuenca alta del Río Bogotá, está conformada por 21 municipios, desde su nacimiento en el páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón, hasta el sector conocido como Puente la Virgen en el municipio de Cota; de acuerdo con (Cubillos Arévalo & Delgado Perdigon, 2016) el Río Bogotá desde su cuenca alta, ha venido presentando niveles de contaminación biológica, química y física, debido a las descargas sobre distintos tributarios, pues la calidad de su agua se altera por los vertimientos de aguas residuales domésticas de municipios que aún no cuentan con sistema de tratamiento, por la carga residual municipal de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR existentes, por los vertimientos de las industrias y la contaminación no puntual proveniente de las actividades agropecuarias. El 28 de marzo del año 2014 producto de una acción popular el consejo de estado emitió la Sentencia 25000-23-27-000-2001-0479-01 en función de la descontaminación del Río Bogotá donde ordenó el diseño e implementación de medidas para descontaminar el Río y evitar una contaminación a futuro y protección de la cuenca. (Observatorio Colombiano Gobernanza del Agua - OCGA & Minambiente, n.d.). Dicha sentencia busca recuperar la cuenca por medio de una gestión integral, a través de acciones ambientales, sociales, económicas e institucionales, promoviendo la articulación y la coordinación interinstitucional, así como la profundización de los procesos educativos.

De forma complementaria la sentencia busca abordar la recuperación y conservación del hidrosistema fluvial de la cuenca del Río Bogotá de una manera integral a partir de tres componentes:

- El Mejoramiento Ambiental y Social de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá.
- La Articulación y Coordinación Institucional, Intersectorial y Económica.
- La Profundización de los Procesos Educativos y de Participación Ciudadana y aún se siguen presentando problemas de contaminación del recurso hídrico a lo largo de la cuenca.

El sistema de tratamiento actual de las aguas industriales no siempre remueve eficientemente los metales pesados. Muchos vertimientos aún superan los límites establecidos por la Resolución 0631 de 2015. Como resultado, los lodos acumulados en el cauce presentan concentraciones que podrían representar un riesgo ambiental y de salud pública si no se gestionan adecuadamente. De acuerdo con Carreazo Vasques *et al* (2017) existe una correlación entre las enfermedades presentadas por trabajadores de curtiembres y el uso de cromo, ácido sulfhídrico, hidróxido de calcio y plomo. Estos elementos también están presentes en los cultivos de habas, arvejas y pastos de los municipios de Villapinzón y Chocontá, dado que sus sistemas de riego se abastecen del río Bogotá. Al respecto, Campos (2010) resalta que la contaminación no se limita al cuerpo de agua, sino que se traslada directamente al suelo. Este escenario puede desencadenar afectaciones de mayor envergadura debido al uso indiscriminado del recurso hídrico y a su constante degradación por aguas residuales industriales, advirtiendo que los niveles de agentes contaminantes se incrementan críticamente en las zonas dedicadas a las curtiembres.

La presente investigación analizó la información identificada y generada en torno a puntos de interés en el Río Bogotá sobre las curtiembres presentes en el municipio de Villapinzón

relacionada con la generación y desecho de contaminantes específicamente de metales pesados (Cromo hexavalente y Plomo) que afecta la salud del Río en su parte alta; mediante un análisis de los resultados obtenidos se determinaron los impactos generados por la contaminación en torno al Río; tomando como referencia los instrumentos de gestión ambiental, institucional y órdenes presentes en la sentencia del Río Bogotá, además, se propusieron alternativas de recuperación y restauración, como de gestión con el fin de realizar un mejoramiento ambiental del Río Bogotá en su cuenca alta.

De acuerdo con la información técnica recopilada, se evidencia que los vertimientos industriales generados por las más de cien unidades de curtiembres, localizadas en un margen inferior a los treinta metros de la ribera del río Bogotá, en jurisdicción del municipio de Villapinzón, han provocado una contaminación crítica por metales pesados. Específicamente, los niveles de cromo reportados por Uribe Pinzón (2019) alcanzan concentraciones superiores a los 219 mg/kg, una cifra que excede ostensiblemente los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015.

De igual manera en el marco del diagnóstico de la cuenca alta del río Bogotá orientado a la formulación de recomendaciones urbanísticas y paisajísticas, Ruiz (1999) incorporó una caracterización del componente hídrico. El monitoreo técnico, implementado mediante el muestreo de dos puntos críticos, evidenció de manera inequívoca la presencia de vectores contaminantes por metales pesados, indexados directamente a los vertimientos de la actividad curtidora de la zona.

Con el objetivo de recopilar datos primarios actualizados respecto al vertimiento directo sobre la fuente hídrica, se ejecutó una fase de prospección y contacto directo con las unidades productivas de curtido localizadas en el área de influencia. Este proceso incluyó el despliegue de

instrumentos de comunicación telefónica y visitas técnicas *in situ* durante las campañas de campo. Sin embargo, ante la ausencia de respuesta por parte de las diferentes curtiembres, el análisis se sustenta en la evidencia recolectada mediante observación directa y en la triangulación de información proveniente de fuentes secundarias y literatura científica previa sobre la actividad industrial en la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior, la metodología propuesta para la ejecución del presente trabajo de investigación se fundamentó en el uso de datos actualizados los cuales fueron comparados con estudios desarrollados por la academia y por entidades del orden nacional y regional. Esta comparación permitió identificar posibles mejoras o deterioros en la calidad del agua de este cuerpo hídrico. A partir de dichos resultados, se elaboró propuestas de gestión ambiental y recuperación que respondan a los lineamientos establecidos en la sentencia del Río Bogotá.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Generar una propuesta de recuperación y gestión para el impacto de la presencia de plomo y cromo hexavalente en el Río Bogotá generados por la industria de las curtiembres en el municipio de Villapinzón, evaluando el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos por la Resolución 0631 de 2015.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las fuentes de contaminación por plomo y cromo hexavalente en la cuenca alta del río Bogotá en el municipio de Villapinzón.
- Evaluar los resultados obtenidos en laboratorio y compararlos con los límites establecidos en la Resolución 0631 de 2015 para Cromo VI y Plomo usados en la industria de curtiembres en el municipio de Villapinzón.
- Formular propuestas de recuperación ecosistémica, que orienten acciones integradas de gestión y coordinación entre los sectores público y privado.

3 Antecedentes

La contaminación ambiental generada por la industria de curtiembres ha sido ampliamente documentada en Colombia, especialmente en municipios como Villapinzón, donde esta actividad representa un renglón económico esencial. Desde hace décadas, instituciones como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y el Ministerio de Ambiente han identificado los vertimientos industriales con alta carga de cromo y plomo como fuentes críticas de deterioro de cuerpos hídricos, particularmente en el nacimiento del Río Bogotá.

La contaminación producida por cromo en su forma hexavalente tiene un alto potencial tóxico para la salud humana y el ecosistema acuático. En este sentido la presencia de cerca de 110 curtiembres en Villapinzón a lo largo del Río Bogotá, los cuales al no sedimentarse presentan concentraciones por encima de los 219 mg/kg según Pinzón Uribe (2010). En este sentido cabe resaltar que los principales procesos realizados en dichas plantas de procesamiento de cueros son:

- i. Recepción de materia prima: Ingreso de las pieles crudas al establecimiento.
- ii. Pretratamiento: Consiste en la eliminación de materia orgánica y suciedad, que por las actividades de faenado se impregnan en la materia prima.
- iii. Curado y desinfectado: El curado se realiza por secado o salación, siendo este último el más frecuente.
- iv. Pelambre: Consiste en la eliminación de la epidermis y el pelaje a través de la inmersión en soluciones de sulfuro de sodio y cal.
- v. Desencalado: En este proceso se remueve la cal y el sulfuro. Son usadas sustancias como ácido sulfúrico, clorhídrico, fórmico, bórico, sales de amonio, bisulfito de sodio, peróxido de hidrógeno, azúcares y melazas.

- vi. Desencarnado: Se realiza con maquinaria especial que separa grasa y carnazas que pueden estar unidas.
- vii. Desengrasado: Con uso de detergentes se preparan soluciones para sumergir las pieles, eliminando proteínas y garantizando una superficie homogénea.
- viii. Piquelado: Consiste en la preparación química de la piel mediante el uso de soluciones de ácido fórmico y ácido sulfúrico.
- ix. Curtido: Permite estabilizar el colágeno de la piel mediante agentes curtientes minerales transformando la piel en cuero. Es en esta etapa en la cual se incorpora el Cromo estabilizándolas ante el proceso de descomposición, esta adición mejora la resistencia térmica, química y mecánica de las pieles, obteniéndose un cuero de fácil manipulación, mayor duración y de un tono azul verdoso. Estudios de ingeniería de procesos realizados por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2021) confirman que es precisamente en este punto donde se genera el mayor porcentaje de agua residual ácida con cromo trivalente (Cr^{3+}), el cual puede oxidarse a su forma hexavalente (Cr^{6+}) bajo ciertas condiciones del suelo.
- x. Secado: Se elimina la humedad del cuero de acuerdo con el espesor.
- xi. Engrasado: Se realiza para evitar el cuarteamiento del cuero y darle una textura suave y flexible.
- xii. Planchado y clasificación: Son empleadas máquinas que otorgan brillo o satinan el cuero. Una vez realizado este proceso los cueros son clasificados de acuerdo con el tamaño y calidad. En esta etapa donde se incorporan tonalidades a los cueros a partir de pigmentos, es donde se incorpora el plomo en uso de colorante amarillo.

- xiii. Almacenamiento: Los cueros son almacenados de acuerdo con su tamaño, calidad y color, sobre una estructura de madera de superficie plana, en un lugar seco y ventilado, evitando la luz solar.

Asimismo, Camacho y Robles (2009) y Mahecha Pulido *et al*, (2017) registran impactos acumulativos de otros metales pesados como Hg, Pb y Cd en suelos agrícolas y salud pública en comunidades cercanas a las curtiembres. De igual manera Cuberos *et al* (2009) realizaron un estudio toxicológico evidenciando que las personas del área de influencia de las curtiembres presentan riesgo de desarrollar hallazgos clínicos atribuibles a la exposición a cromo.

Al respecto, Beltrán (2005) evaluó la correlación entre la contaminación del río Bogotá y el deterioro en la calidad de vida, mediante un diagnóstico de los impactos ambientales generados por la actividad curtidora. El estudio determinó de manera clara cómo estos vertimientos reducen las condiciones óptimas del agua; una línea de análisis que coincide con otros resultados reportados por las evaluaciones socioambientales de la Universidad Nacional de Colombia (2022), donde se evidencia que la pérdida de las condiciones fisicoquímicas del río no solo destruye los servicios ecosistémicos de la región, sino que genera un detrimento económico en la vocación agropecuaria tradicional y eleva los niveles de vulnerabilidad social de las familias colindantes.

En respuesta, se han implementado estrategias de mitigación como la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), técnicas de biorremediación que involucran el uso de hongos y bacterias con el fin de reducir la carga contaminante de diversos ambientes como plantas hiperacumuladoras las cuales presentan alta capacidad de remoción, reducción, transformación, degradación volatilizar o estabilizar metales pesados debido a las características de sus raíces Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez (2016), sistemas de neutralización química y

programas de reconversión tecnológica, muchas veces sin éxito sostenido debido a falencias institucionales, económicas o socioculturales. La problemática sigue vigente y requiere enfoques integrales que combinen la recuperación ambiental con una gestión efectiva del riesgo químico. Estudios de gobernanza ambiental como el de Restrepo y Lozano (2023) señalan que la alta tasa de deserción en estos programas tecnológicos en Villapinzón obedece principalmente a la falta de apalancamiento financiero para los microproductores y a la ausencia de un canal de transferencia tecnológica adaptado a las dinámicas del municipio. La problemática sigue vigente y requiere enfoques integrales que combinen la recuperación ambiental con una gestión efectiva del riesgo químico.

4 Marco Teórico

El presente marco teórico sustenta conceptualmente la problemática ambiental derivada de la contaminación por metales pesados —principalmente cromo y plomo— generada por la industria de curtiembres en el municipio de Villapinzón, Cundinamarca. Se ha considerado integrar los referentes teóricos, técnicos y normativos que orientan la comprensión del fenómeno, su evaluación y las posibles estrategias de recuperación ambiental.

El proceso para la transformación del cuero consiste en eliminar grasas, carnazas, pelos o lanas, para ser sometidos a agentes químicos que interaccionan con las fibras de colágeno para obtener un cuero estable y durable, a través de varias etapas en las cuales se emplean métodos a base de sales de cromo o el uso de agentes vegetales. Estos procesos contemplan el uso de sustancias de altos niveles de toxicidad como las sales de cromo y pigmentos con alto contenido de plomo.

De acuerdo con el Artículo 2.2.3.1.1.3. del Decreto 1076 de 2015, una cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un Río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Congreso de la República de Colombia, 2015)

En el marco de la gestión integral del recurso hídrico, la planificación de una cuenca hidrográfica constituye un proceso sistemático y basado en evidencia, orientado a definir objetivos, estrategias y acciones para garantizar el manejo sostenible de sus recursos naturales. Este proceso busca optimizar el aprovechamiento de dichos recursos, asegurando al mismo tiempo la conservación de la base natural y el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales. De esta manera, se promueve un balance entre las necesidades socioeconómicas de las comunidades y la

preservación de la biodiversidad, asegurando la resiliencia y sostenibilidad de la cuenca a largo plazo. (Ministerio de Ambiente, 2010).

Actualmente, entre los principales problemas en el manejo de cuencas hidrográficas se destacan: la contaminación del agua, el deterioro de las condiciones ecológicas, la insuficiencia en la disponibilidad hídrica, la falta de integración en la gobernanza y la carencia de medidas adecuadas de adaptación al cambio climático. Ante este panorama, la gestión integrada de cuencas hidrográficas, desde un enfoque holístico y con visión de adaptación y mitigación del cambio climático, busca optimizar el uso de la tierra, el agua y la vegetación para enfrentar la sequía, moderar inundaciones, prevenir la erosión del suelo, mejorar la disponibilidad y calidad del agua, restaurar la base de los recursos naturales y promover una producción forestal y agrícola sostenible en el tiempo. (Sánchez Suárez, 2021).

La cuenca hidrográfica del Río Bogotá se encuentra localizada en el Departamento de Cundinamarca, conforma por 45 municipios y el Distrito Capital; el Río Bogotá se constituye en la corriente principal de la cuenca recorriendo desde su nacimiento a los 3300 msnm en el páramo de Guacheneque en el municipio de Villapinzón, hasta su desembocadura al Río Magdalena a los 280 msnm en el municipio de Girardot. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014)

La CAR, por medio del Acuerdo 58 de 1987, delimitó la cuenca alta, media y baja de la del Río Bogotá, para efectos del presente trabajo se tomará lo relacionado con la cuenca alta la cual está sectorizada desde el nacimiento del Río Bogotá en Villapinzón hasta el sector conocido como el puente de la Virgen (municipio de Cota) (Díaz Gil, 2020) .

Villapinzón, que, si bien aportan significativamente a la economía local, también representan presiones sobre el recurso hídrico. Por ello, la gestión sostenible de la cuenca alta resulta fundamental para garantizar la conservación de los ecosistemas, la calidad del agua y el equilibrio entre el desarrollo económico y la protección ambiental a lo largo de toda la cuenca.

El 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 12 y 25 %; le sigue en importancia el relieve fuertemente quebrado con pendientes entre 25 y 50%. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan de forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7 % y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ondulado. (Quintero Castrillón & Wilson Martínez, 2010)

La cuenca del Río Bogotá en las últimas décadas ha venido sufriendo un deterioro en su calidad ambiental, debido a las actividades, agrícolas, pecuarias, domésticas e industriales en crecimiento y a la poca gestión institucional que ha derivado en una alta contaminación del cauce.

Como consecuencia de lo anterior el 25 agosto de 2004, la Sección Cuarta del Tribunal Administrativo de Cundinamarca, profirió la primera sentencia para cuatro acciones populares, por la violación de los derechos colectivos a un ambiente sano, a la salubridad pública y a la eficiente prestación de los servicios públicos domiciliarios. Se condenaron a los responsables de la contaminación del Río, se emitieron varias órdenes y se aceptaron los pactos de cumplimiento ofrecidos por los demandados. Este fallo fue estudiado en segunda instancia por el Consejo de Estado, el cual emitió una sentencia el 28 de marzo del 2014. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014)

De acuerdo con Consejo de Estado, 2014, la sentencia del Río Bogotá, está planteada desde 4 ítems en torno a la problemática del Río Bogotá, así:

- Uno de los sistemas hídricos más contaminados del mundo y que acusa un grave deterioro ecológico y daño a su ecosistema.
- Un sistema hídrico con problemas diferentes en los subsistemas de la cuenca alta, media y baja con escasos recursos para una solución.
- Un serio problema de ordenamiento territorial y uso del suelo en el Departamento y los municipios con los cuales existe una influencia recíproca del Río.
- Ausencia de voluntad política del Estado, especialmente la Nación para poner en marcha una política pública ambiental.

Se ha analizado referente a las diferentes problemáticas presentes en la cuenca del Río Bogotá, donde se identifican entre otras la falta de control en la destrucción del suelo y subcuencas, contaminación del agua por metales pesados, asentamientos humanos e industriales en sus rondas, amenaza constante de inundación, desregularización del caudal para producción de energía hidroeléctrica, desequilibrio en la demanda y uso del agua de la cuenca para consumo humano, agropecuario e industrial, deficiencia en la política de tratamiento de agua residual, entre otros. (Quintero Castrillón & Wilson Martínez, 2010).

En cuanto a la cuenca alta del Río Bogotá la Alcaldía Mayor de Bogotá, (2014) indica que esta se caracteriza por ser zona de abastecimiento para varios municipios y el Distrito Capital, pues es allí donde se localiza el nacimiento del Río, en el páramo de Guacheneque (Villapinzón) y los embalses del Neusa, Tominé, Sisga, Chingaza y San Rafael.

Entre los factores de deterioro de la calidad del agua se destacan los vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y de actividades agropecuarias. La problemática más significativa es la generada por las descargas derivadas de la actividad de curtiembres en los municipios de Villapinzón y Chocontá, donde se vierte una carga importante de materia orgánica y materiales pesados contaminantes (como cromo hexavalente, sulfuros, grasas y bicarbonato) que agotan el oxígeno disuelto del Río.

Igualmente, en el caso de la carga residual de las PTAR de los municipios que cuentan con esta infraestructura, se destaca el caso de Tocancipá donde se acumulan las cargas contaminantes provenientes de 150 industrias localizadas cerca de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Tibitoc. Adicionalmente, es importante resaltar la presencia de fuentes difusas de contaminación resultado de la mala disposición de residuos sólidos y la actividad agropecuaria. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

Según (Campos Segura, 2010) gran parte de la contaminación proviene del manejo inadecuado de residuos, su uso indiscriminado y el vertimiento de aguas residuales de las industrias, el sector doméstico y agropecuario al Río Bogotá; la problemática de los vertimientos se agudiza con las curtiembres presentes en la cuenca alta cuyos residuos líquidos y sólidos afectan la calidad del agua del Río afectando la vida acuática, generando problemas de salud pública y aumentando la contaminación de suelos y bioacumulación de las especies cultivadas en esta zona.

La consecuencia directa para el agua del Río debido a la descarga de aguas residuales, está ligada a la destrucción o inhibición de la actividad biológica en el agua por la descarga de compuestos tóxicos, la afectación del balance de oxígeno en el agua por sustancias que consumen el oxígeno disuelto (Demanda Bioquímica de Oxígeno) o impiden la reoxigenación (aceites, grasas, detergentes), la acumulación de altas concentraciones de materiales sólidos inertes o

disueltos los cuales afectan el entorno biótico de la fuente, entre otros. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2020)

Teniendo en cuenta lo expuesto por (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2020) En la cuenca alta del Río Bogotá, el 94,5 % de los municipios reportan la existencia de 28 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en funcionamiento y tres más en construcción. Esta situación evidencia que únicamente el 5,5 % del área correspondiente a la cuenca alta, representada por el municipio de Villapinzón, que no cuenta con infraestructura operativa de tratamiento, lo que resalta su rezago en términos de gestión adecuada de aguas residuales, no cuenta aún con un sistema de saneamiento para sus aguas residuales, dato importante a tener en cuenta debido a que es allí donde nace esta importante fuente hídrica y es ahí mismo donde sufre su primer gran descarga contaminante de aguas servidas domiciliarias e industriales (curtiembres).

Igualmente, de acuerdo con información presentada por la CAR Cundinamarca, en el Río Bogotá existen actualmente 164 vertimientos domésticos y no domésticos. De estos, la mayoría con un 71%, son de carácter doméstico y un 29% de carácter no doméstico. Dentro de los vertimientos de tipo no doméstico, se destacan distintas actividades productivas como la fabricación y curtido de pieles sobre todo en la cuenca alta del Río, la producción y procesamiento de alimentos y productos no perecederos en la cuenca media y alta, la producción energética en la cuenca alta, entre otros, en menor proporción (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2020).

La industria de las curtiembres es catalogada entre las que más contaminan los cuerpos de agua y los diferentes entornos ambientales, gracias a las sustancias tóxicas generadas en todas las

etapas del proceso, lo que trae como consecuencia la afectación indirecta a la salud humana (Zabaleta Berrio & Cárdenas Frias, 2019)

El proceso de transformación en las curtiembres se caracteriza por un alto consumo de agua y productos químicos. En términos cuantitativos, por cada 1000 kg de piel salada que ingresan al proceso se requieren entre 15 y 40 m³ de agua, junto con aproximadamente 450 kg de insumos químicos. Como resultado, se obtienen en promedio 200 kg de cuero acabado, 40 kg de solventes que son liberados a la atmósfera, 640 kg de residuos sólidos y 138 litros de agua que se pierde durante el tratamiento de la piel, en total, por cada tonelada de piel procesada, se generan alrededor de 696 kilos de residuos. De esa cantidad, aproximadamente el 21 % contiene cromo, un metal pesado que, si no se maneja adecuadamente, puede contaminar el agua y el suelo, además de representar riesgos para la salud (Zabaleta Berrio & Cárdenas Frias, 2019).

De acuerdo con la (Secretaría Distrital de Ambiente, 2017), dentro del proceso de las curtiembres, la etapa de curtido es una de las más importantes. En ella, las pieles se preparan para convertirse en un material resistente, duradero y que no se descomponga fácilmente. Esto se logra gracias a los agentes curtientes, sustancias químicas que se fijan en las fibras de colágeno de la piel y las estabilizan mediante uniones cruzadas, es decir, enlaces químicos que refuerzan la estructura de la fibra. En la práctica, la mayoría de las empresas utilizan sales metálicas como agentes curtientes, siendo las sales de cromo las más comunes por su efectividad y bajo costo.

Adicionalmente, en el barrio San Benito, en Bogotá, conocido también por su industria de curtiembres, se identificó una fuerte relación entre la exposición de los trabajadores de las curtiembres a sustancias como cromo, ácido sulfhídrico, hidróxido de calcio, compuestos de

nitrógeno amoniacal y plomo, y la aparición de diversas enfermedades laborales (Zabaleta Berrio & Cárdenas Frias, 2019).

Por otro lado, (Santamaría Zárate et al., 2021) en documento técnico relacionado con la implementación de estrategias de producción más limpia en la cuenca alta del Río Bogotá, señala que, con los monitoreos de la calidad de las aguas en la cuenca alta del Río Bogotá, los contaminantes encontrados con mayor frecuencia fueron metales pesados; también identificaron las concentraciones de detergentes y fenoles.

El plomo (Pb) es un material ampliamente utilizado en múltiples procesos industriales, entre ellos la fabricación de materiales de construcción, pigmentos para cerámicas vidriadas, tuberías para el abastecimiento de agua, municiones militares y pinturas usadas en diferentes industrias, entre otros. Esta amplia gama de aplicaciones ha favorecido su dispersión en diferentes matrices ambientales —agua, suelo y aire—, lo que incrementa el riesgo de contaminación y exposición en seres vivos. (Gutiérrez Saad, 2019)

La presencia de Pb en los ecosistemas actualmente se encuentra ampliamente distribuido a lo largo de la cuenca del Río Bogotá, donde su concentración en cuerpos de agua se relaciona principalmente con actividades antrópicas, más que con procesos naturales (Gutiérrez Saad, 2019).

Los hallazgos obtenidos por (Camacho Ángel & Robles Cruz, 2009) evidenciaron un proceso continuo de contaminación en el municipio de Chocontá, originado por diversos factores como el riego con aguas provenientes del Río Bogotá, el uso de agroquímicos y la ausencia de rotación de cultivos, entre otros. Aunque las concentraciones de Pb y Cr registradas no superaron los límites máximos establecidos por organismos internacionales y no representarían niveles críticos, sí reflejaron una acumulación gradual que afecta los suelos y los sistemas productivos

vinculados. Esta situación exhibe un riesgo elevado para la salud humana y animal, así como para la calidad de los suelos y de los cultivos.

4.1 Gestión del recurso hídrico

La gestión integral del recurso hídrico se relaciona directamente con la gobernanza del agua, la cual se basa en la participación de la comunidad. Este enfoque busca integrar a distintos actores sociales, junto con sus culturas, conocimientos y marcos normativos, dentro de los contextos sociopolíticos, económicos y ambientales. De esta forma, se fortalece la toma de decisiones compartidas orientadas a un manejo sostenible del recurso. (Díaz Gil, 2020)

Igualmente, como lo indica (Díaz Gil, 2020), uno de los aspectos clave en la construcción de un diálogo de saberes el cual es planteado por la gobernanza del agua, consiste en establecer de qué manera este enfoque puede favorecer la articulación entre los distintos actores sociales, gubernamentales y académicos para la gestión del territorio, tomando al agua como eje central de cohesión social y territorial.

En este sentido, la participación ciudadana se configura como un eje sustantivo en la gobernanza del agua. Su incorporación en los procesos de decisión posibilita no solo la legitimación de las políticas públicas, sino también la articulación de saberes técnicos, comunitarios y culturales que contribuyen a reconfigurar los modelos tradicionales de gestión. (Lemos *and* Agrawal 2006)

De este modo, la gestión participativa se erige como un mecanismo capaz de tensionar y equilibrar las demandas de agua alrededor de la equidad social, los requerimientos de eficiencia productiva y condiciones de conservación ambiental enfocadas principalmente en los vertimientos al Río Bogotá.

En este sentido la participación ciudadana implica dos roles dentro de la gestión del recurso hídrico y la justicia social, el primero de ellos le cataloga cómo receptor directo de la carga contaminante sobre el Río, sea consecuencia de las actividades industriales o domésticas; y el segundo, como agente modificador de las normativas a través de la justicia social, dialogo participativo, exigencia de nuevas tecnologías de pre o postproceso, enfocando a sistemas productivos sostenibles.

Así las cosas, la participación de la ciudadanía en aspectos como el cuidado de la biodiversidad, el uso responsable del agua, la recuperación de fuentes hídricas y la creación de estrategias de adaptación frente a eventos extremos —como sequías o lluvias intensas— resulta fundamental en la cuenca del Río Bogotá, en este contexto, es de gran importancia analizar las propuestas orientadas al manejo y la protección ambiental, que además se convierten en una herramienta valiosa para fomentar la inclusión y el compromiso de las comunidades. (Díaz Gil, 2020) .

4.2 Enfoque teórico

El análisis de los procesos de contaminación y degradación ambiental, especialmente en ecosistemas asociados a actividades industriales, requiere de una base teórica sólida que permita comprender la complejidad de las interacciones entre los componentes ecológicos, tecnológicos y socioinstitucionales. Desde esta perspectiva, se integran tres enfoques teóricos que sustentan la interpretación y las estrategias de intervención en el contexto de estudio

4.2.1 Servicios Ecosistémicos Degradados

Señala que la pérdida de funcionalidad ecológica de un ecosistema (por ejemplo, cuerpos de agua contaminados con Cr^{6+} o Pb) afecta directamente los servicios que provee, como el abastecimiento de agua, regulación hídrica y control de enfermedades (MEA, 2005).

4.2.2 Enfoque de Producción Más Limpia (PML)

Promueve la reducción en el origen de la carga contaminante mediante la sustitución de insumos, modificación de procesos y reciclaje interno, con especial aplicación en industrias intensivas en uso de químicos, como la curtiembre (UNEP, 2011).

4.2.3 Teoría de la Transición Socio-Técnica

Aborda los cambios estructurales en sectores productivos contaminantes, considerando factores tecnológicos, normativos, institucionales y culturales necesarios para una transición sostenible (Geels, 2002).

4.3 Normatividad Asociada

Tabla 1. Normatividad vigente en Colombia

NORMA	INFORMACIÓN NORMA
Decreto 2811 de 1974	Art. 77 a 78 Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: aguas subterráneas. Art.155: Administración de aguas y cauces.
Decreto 2858 de 1981.	Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978 Artículo 1.- El Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, INDERENA, como las Corporaciones Regionales de Desarrollo podrán otorgar permisos especiales hasta por el término de un año, para la realización de estudios de factibilidad sobre aprovechamiento de aguas con destino a la formulación de proyectos de riego a nivel de finca o grupos de fincas, cuando el costo de tales estudios y de las obras civiles correspondientes vayan a ser financiados con recursos del Banco de la República en los términos de la Resolución número 28 de 1981 expedida por la Junta Monetaria, o de las disposiciones que se expidan con igual finalidad.
Ley 99 de 1993	Art. 10,11,24,29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de las aguas
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Decreto 155 de 2004	Objeto reglamentar el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 en lo relativo a las tasas por utilización de aguas superficiales, las cuales incluyen las aguas estuarinas, y las aguas subterráneas, incluyendo dentro de estas los acuíferos litorales. No son objeto de cobro del presente decreto las aguas marítimas.
Resolución 865 de 2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones. Incluye manual.
Decreto 4741 de 2005.	Se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Decreto 4742 de 2005	por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
Decreto 838 de 2005	Se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2145 de 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.

NORMA	INFORMACIÓN NORMA
Acuerdo 43 de 2006	Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del Río Bogotá a lograr en el año 2020
Decreto 1575 de 2007	Objeto: establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.
Decreto 3930 de 2010	Se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 4728 de 2010	Se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010, en materia de vertimientos.
Decreto 303 de 2012	Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64 del Decreto -Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076 de 2015	Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto 1090 de 2018	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1514 de 2012	Por la cual adoptan los Términos de Referencia para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos.
Resolución 1907 de 2013	Por la cual se expide la Guía Técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.
Resolución 0631 de 2015	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

NORMA	INFORMACIÓN NORMA
Resolución 751 de 2018	Por la cual se adopta la Guía técnica para la formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico continental superficial – PORH y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1256 de 2021	Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones.
Acuerdo 17 de 2020	Por medio del cual se modifica el acuerdo 043 de 2006

Conceptos Claves

La curtiembre es el proceso industrial mediante el cual las pieles animales son sometidas a una serie de tratamientos fisicoquímicos con agentes curtientes, con el objetivo de transformar la materia orgánica putrescible en un material estable, resistente y duradero: el cuero. Este proceso permite modificar las propiedades estructurales del colágeno dérmico, reduciendo su biodegradabilidad, incrementando su resistencia a la humedad y otorgándole características de suavidad, elasticidad y flexibilidad, requeridas para su uso en productos manufacturados.

A continuación, se relacionan las etapas para la obtención del cuero de acuerdo con MinSalud (2015).

- i. Recepción de materia prima
- ii. Pretratamiento, consiste en la eliminación de materia orgánica y suciedad, que por las actividades de faenado se impregnan en la materia prima.
- iii. Curado y desinfectado, el curado se realiza por secado o salación, siendo este último el más frecuente.
- iv. Pelambre, consiste en la eliminación de la epidermis y el pelaje a través de la inmersión en soluciones de sulfuro de sodio y cal.

- v. Desencalado, en este proceso se remueve la cal y el sulfuro. Son usadas sustancias como ácido sulfúrico, clorhídrico, fórmico, bórico, sales de amonio, bisulfito de sodio, peróxido de hidrógeno, azúcares y melazas.
- vi. Desencarnado, se realiza con maquinaria especial que separa grasa y carnazas que pueden estar unidas.
- vii. Desengrasado, con uso de detergentes se preparan soluciones para sumergir las pieles, eliminando proteínas y garantizando una superficie homogénea.
- viii. Piquelado, consiste en la preparación química de la piel mediante el uso de soluciones de ácido fórmico y ácido sulfúrico.
- ix. Curtido, permite estabilizar el colágeno de la piel mediante agentes curtientes minerales transformando la piel en cuero. Es en esta etapa en la cual se incorpora el Cromo estabilizándolas ante el proceso de descomposición, esta adición mejora la resistencia química y mecánica de las pieles, obteniéndose un cuero de fácil manipulación, mayor duración y de un tono azul verdoso.
- x. Secado, se elimina la humedad del cuero de acuerdo con el espesor.
- xi. Engrasado, se realiza para evitar el cuarteamiento del cuero y darle una textura suave y flexible.
- xii. Planchado y clasificación, son empleadas máquinas que otorgan brillo o satinan el cuero. Una vez realizado este proceso los cueros son clasificados de acuerdo con el tamaño y calidad. En esta etapa donde se incorporan tonalidades a los cueros a partir de pigmentos, es donde se incorpora el plomo en uso de colorante amarillo.

- xiii. Almacenamiento, los cueros son almacenados de acuerdo con su tamaño, calidad y color, sobre una estructura de madera de superficie plana, en un lugar seco y ventilado, evitando la luz solar.

Responsabilidad Social Empresarial (RSE), definida como el compromiso constante de las empresas de comportarse de manera ética y también contribuir al desarrollo económico de la sociedad. En Colombia son pocas las empresas que conocen y cumplen con este compromiso que se enmarca en el ámbito social, ambiental y educativo de las comunidades de su área de influencia o impacto.

4.4 Responsabilidad Social Empresarial en la industria curtiembres

Dentro de los aspectos que abarca la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) está la constante preocupación por el deterioro del medio ambiente, y la industria curtiembre adquiere un papel protagónico al ser foco de contaminación puntual del medio ambiente en el aire y el agua, este último usado para demanda y también para disposición de residuos propios de las actividades desarrolladas.

Dado el concepto integral de RSE propuesto por Jean Pasquero (2005) “*La responsabilidad social empresarial (RSE) es la totalidad de las obligaciones —legales y voluntarias— que una compañía debe asumir para ser percibida como modelo de buena ciudadanía en un ambiente dado*”, Paniagua & Isaza (2009) realizan una propuesta metodológica para la implementación de un modelo de RSE para la industria curtiembre en Colombia, buscando una forma de resarcir los efectos negativos que esta industria ocasiona.

En este sentido aplican el método propuesto por Donna Wood, fundamentado en los principios de Responsabilidad Social Empresarial (RSE), en los procesos de receptividad social

corporativa y en los resultados del comportamiento empresarial, se establece una secuencia metodológica para la gestión de impactos ambientales. En primer lugar, se delimita el área de influencia, entendida como la zona más afectada por los vertimientos de residuos. En segundo término, se evalúa el impacto ambiental generado, considerando de manera integral los componentes biótico, abiótico, socioeconómico, cultural y normativo. Esta etapa incorpora tanto una valoración cualitativa como cuantitativa, con el fin de determinar la severidad del impacto ambiental.

Posteriormente, y con base en dicha evaluación, se definen los niveles aceptables de contaminación que garanticen el bienestar y la calidad de vida de la comunidad del área de influencia. En un cuarto momento, se calcula el valor económico del deterioro ambiental, enfocado específicamente en la pérdida de bienestar de la población. A partir de este análisis, es posible adoptar medidas orientadas a resarcir el daño, ya sea mediante acciones de disminución, corrección o mitigación. De igual modo, mencionan la posibilidad de considerar los instrumentos económicos vigentes, como la tasa retributiva contemplada en el Decreto 3100 de 2003 y sus posteriores modificaciones. Esto claro, sin omitir de alguna manera la evaluación integral realizada, ya que consideran un fracaso el método si solo se estima parcialmente. Factores como la pérdida paisajística son relevantes si se tiene en cuenta el bienestar de la comunidad afectada.

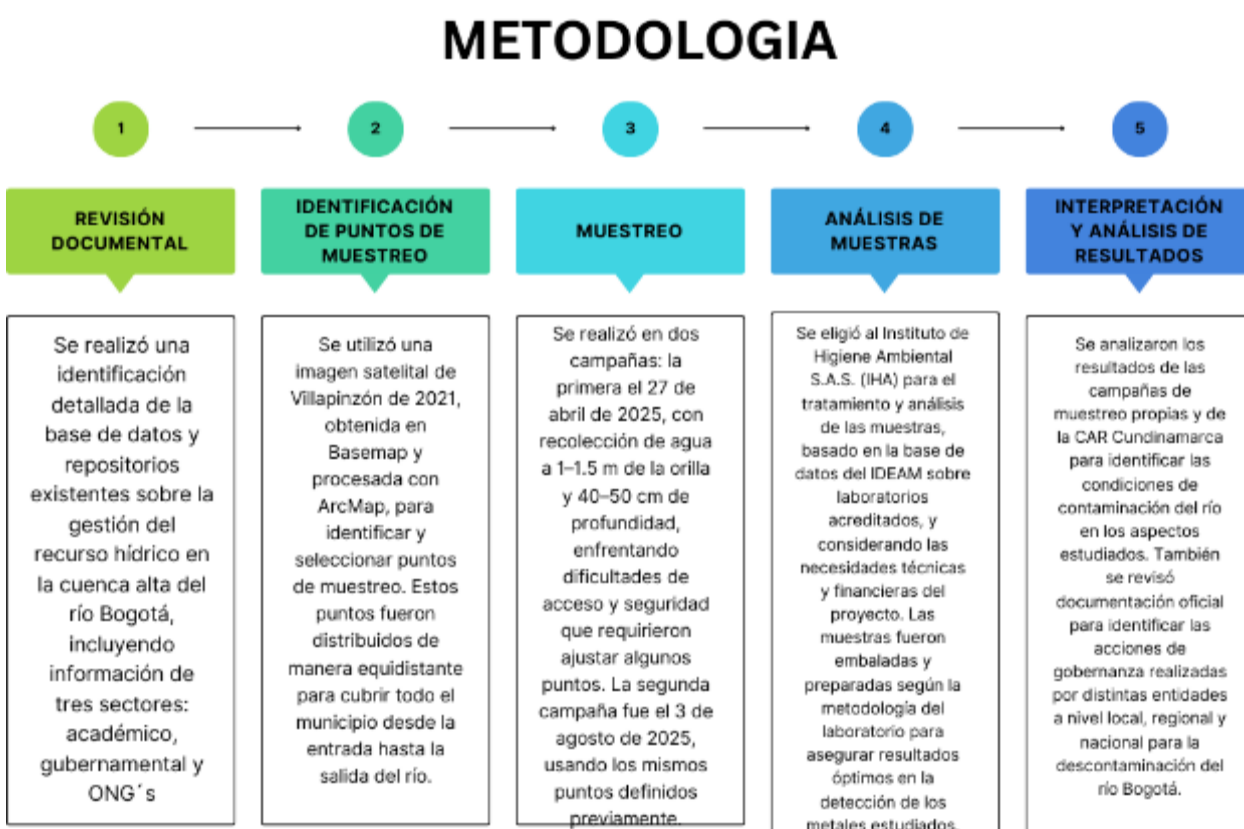
Como paso subsiguiente, contemplan la elaboración de Planes de Manejo Ambiental orientados a la prevención, mitigación, corrección y compensación de los efectos negativos identificados. Estos planes deberán ser evaluados y ajustados de manera continua conforme avancen las etapas de su ejecución y se disponga de nueva información sobre su efectividad.

5 Metodología

La metodología se desarrolló bajo el enfoque mixto de investigación, ya que integra análisis cuantitativos de valores de plomo y cromo hexavalente encontrados y análisis cualitativos relacionados con gobernanza, gestión ambiental y revisión documental de las acciones implementadas para la recuperación del río Bogotá en el municipio de Villapinzón, igualmente la investigación presenta un alcance descriptivo y analítico.

A continuación, se presentan las fases y su desarrollo:

Figura 1. Metodología aplicada

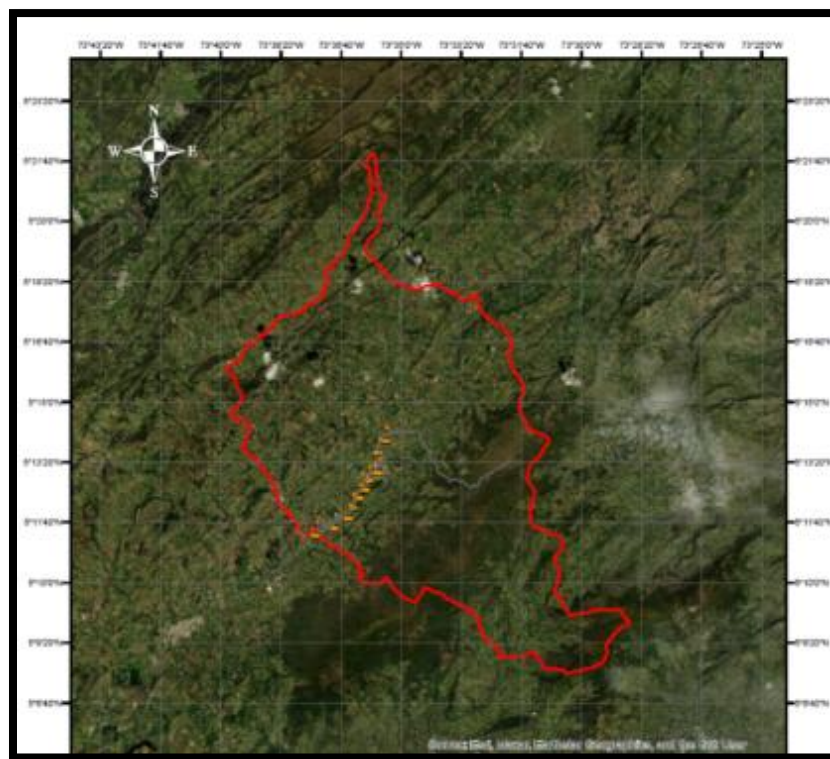


Fuente: Elaboración propia

1. Revisión documental: Se realizó una identificación detallada tanto de la base de datos y repositorios existente, para esto, se tuvo en cuenta la información generada de la cuenca respecto a la gestión del recurso hídrico, en donde se incluyó información de tres sectores: La información académica, gubernamental y de las ONG's. Para el caso de la información académica, esta se obtuvo de los repositorios institucionales de las entidades de educación superior en las cuales hayan realizado estudios sobre la cuenca alta del Río Bogotá especialmente en temas relacionados con gobernanza del agua e implicaciones del sector curtiembres en el Río Bogotá. En la plataforma ORARBO, se identificó información generada por diferentes organizaciones que hacen parte del consejo estratégico de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá. Para el sector gubernamental, se tomó la información teniendo en cuenta las principales entidades con injerencia en la cuenca objeto de estudio a nivel local, regional y nacional. Adicionalmente, con el fin de seguir alimentando la base de datos existente, se consultaron plataformas académicas como Google Scholar, Science Direct y demás buscadores académicos que la plataforma CRAI – USTA nos permite indagar además de consultas públicas como columnas, notas periodísticas, entre otros.
2. Mediante el uso de una imagen satelital del municipio de Villapinzón correspondiente al año 2021, obtenida a través de la plataforma Basemap y procesada en el software ArcMap de ArcGIS, se realizó la identificación preliminar de los sitios destinados para el muestreo en gabinete. Para la selección de los puntos, se estableció como criterio una distribución espacial equidistante, de modo que permitiera cubrir de manera representativa la totalidad del municipio. En este

sentido, los puntos fueron ubicados a lo largo del cauce del río Bogotá, desde el ingreso al municipio en la vía Bogotá–Tunja hasta su salida en dirección Tunja–Bogotá, garantizando la inclusión de sectores aguas arriba, dentro del casco urbano y aguas abajo. Esta disposición permitió obtener una cobertura adecuada para el análisis espacial de la calidad del agua, tal como se evidencia en el mapa presentado a continuación.

Mapa 2. Puntos de muestreo Villapinzón



Fuente: Elaboración propia

3. Muestreo: El muestreo se llevó a cabo en dos campañas, en ambas campañas se realizaron diez muestreos puntuales cada una, correspondientes a los puntos P1 al P10 para análisis de plomo y C1 al C10 para análisis de cromo, donde la numeración

corresponde al punto de muestreo evaluado. Los muestreos fueron realizados por el equipo de tesis, quienes efectuaron la toma, preservación y transporte de las muestras bajo conservación en nevera y control de condiciones fisicoquímicas de acuerdo a las condiciones indicadas por el laboratorio. Para las muestras destinadas al análisis de cromo hexavalente se aplicó preservación química mediante adición de 1 mL de solución buffer y 600 μ L de NaOH 5N por cada 100 mL de muestra, ajustando el pH en un rango entre 9,3 y 9,7, conforme a los requerimientos técnicos de conservación para este parámetro. Posteriormente, las muestras fueron refrigeradas a temperaturas ≤ 6 °C para evitar alteraciones en la composición química antes del análisis. Para las muestras de plomo se realizó preservación mediante adición de ácido nítrico (HNO_3) hasta alcanzar un $\text{pH} < 2$, con el fin de estabilizar el metal en solución y evitar procesos de precipitación o adsorción durante el almacenamiento y transporte. Los análisis fueron realizados por el Instituto de Higiene Ambiental S.A.S., laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2017 mediante Resolución IDEAM No. 1065 del 9 de agosto de 2023 y resoluciones complementarias vigentes para 2025.

Para la determinación de cromo hexavalente se empleó el método SM 3500-Cr B de la edición 23 de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM 2017), basado en espectrofotometría. Este método permite cuantificar concentraciones de cromo hexavalente mediante una reacción colorimétrica y posterior medición de absorbancia en espectrofotómetro. Para plomo se utilizó el método SM 3030 K – SM 3111 B, el cual contempla preparación de muestra y análisis mediante espectroscopía de absorción atómica, técnica

instrumental empleada para la identificación y cuantificación de metales. Los análisis reportan límites de cuantificación de 0,030 mg/L para cromo hexavalente y 0,100 mg/L para plomo.

El costo de los análisis de laboratorio fue de un millón de pesos (\$1.000.000), y demás costos relacionados al desarrollo del presente trabajo fueron costeados por los autores del presente trabajo de tesis

La recolección de las muestras se realizó directamente en el Río Bogotá a una distancia aproximada de 1 a 1,5 m de la orilla y a profundidades comprendidas entre 40 y 50 cm.

La primera campaña de muestreo se realizó el 27 de abril de 2025, durante esta jornada se presentaron dificultades en el acceso a los puntos de muestreo, por condiciones de seguridad al momento de tomar las muestras en algunos puntos, situación que requirió ajustes en la ubicación final de algunos de los puntos establecidos.

Primera Campaña de toma de muestras

La primera campaña de toma de muestras de agua se realizó el día 27 de abril de 2025 en el municipio de Villapinzón, en los puntos previamente identificados para la ejecución de los muestreos. A continuación, se presenta el registro fotográfico del proceso de toma de muestras, en el cual se ilustran los puntos seleccionados, la metodología empleada durante la recolección y las condiciones en las que se llevó a cabo cada actividad. Es importante señalar que las muestras fueron envasadas, preservadas y transportadas conforme a las recomendaciones y protocolos establecidos por el laboratorio encargado, con el fin de garantizar la integridad de las mismas y la confiabilidad de los resultados obtenidos. (ver anexo1)



Imagen 1. Toma de muestras punto 1. Campaña 1



Imagen 2 Toma de muestras punto 2. Campaña 1



Imagen 3 Toma de muestras punto 3. Campaña 1



Imagen 4 Toma de muestras punto 4. Campaña 1



Imagen 5 Toma de muestras punto 5. Campaña 1



Imagen 6 Toma de muestras punto 6. Campaña 1



Imagen 7 Toma de muestras punto 7. Campaña 1



Imagen 8 Toma de muestras punto 8. Campaña 1



Imagen 9 Toma de muestras punto 9. Campaña 1



Imagen 10 Toma de muestras punto 10. Campaña 1

Fuente: Elaboración propia

Segunda Campaña de toma de muestras

La segunda campaña de toma de muestras de agua se realizó el día 3 de agosto de 2025 en el municipio de Villapinzón, en los mismos puntos de muestreo definidos y ajustados durante la primera campaña, con el fin de garantizar la comparabilidad de los resultados y evaluar posibles variaciones temporales en la calidad del agua. A continuación, se presenta el registro fotográfico del proceso de toma de muestras, en el cual se ilustran los puntos seleccionados, la metodología empleada durante la recolección y las condiciones en las que se llevó a cabo cada actividad. Asimismo, las imágenes permiten evidenciar la aplicación de los protocolos establecidos y las recomendaciones emitidas por el laboratorio para el adecuado manejo, preservación y transporte de las muestras, garantizando la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos. Cabe señalar

que las muestras fueron envasadas, preservadas y transportadas siguiendo las recomendaciones y protocolos establecidos por el laboratorio, asegurando la calidad y confiabilidad de los resultados analíticos. (ver anexo 2).



Imagen 11. Toma de muestras punto 1 - Campaña 2



Imagen 112 Toma de muestras punto 2 - Campaña 2

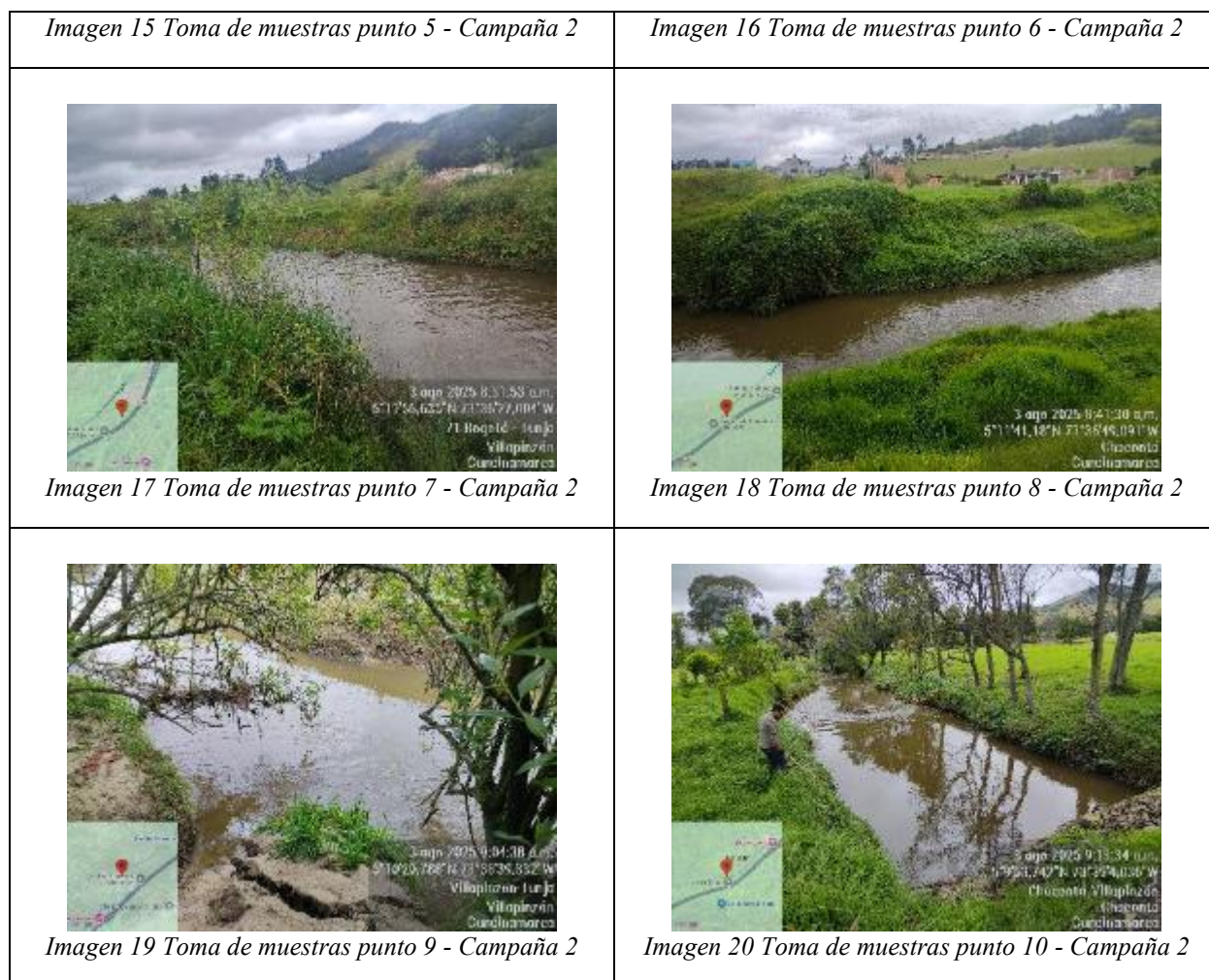


Imagen 13 Toma de muestras punto 3 - Campaña 2



Imagen 124 Toma de muestras punto 4 - Campaña 2





Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las coordenadas y la localización de los puntos establecidos en la cartografía, en los cuales se realizaron las respectivas tomas de muestras de agua para el desarrollo del presente proyecto. Estos puntos fueron previamente definidos mediante análisis espacial y verificados en campo, garantizando su representatividad a lo largo del tramo del río Bogotá en el municipio de Villapinzón.

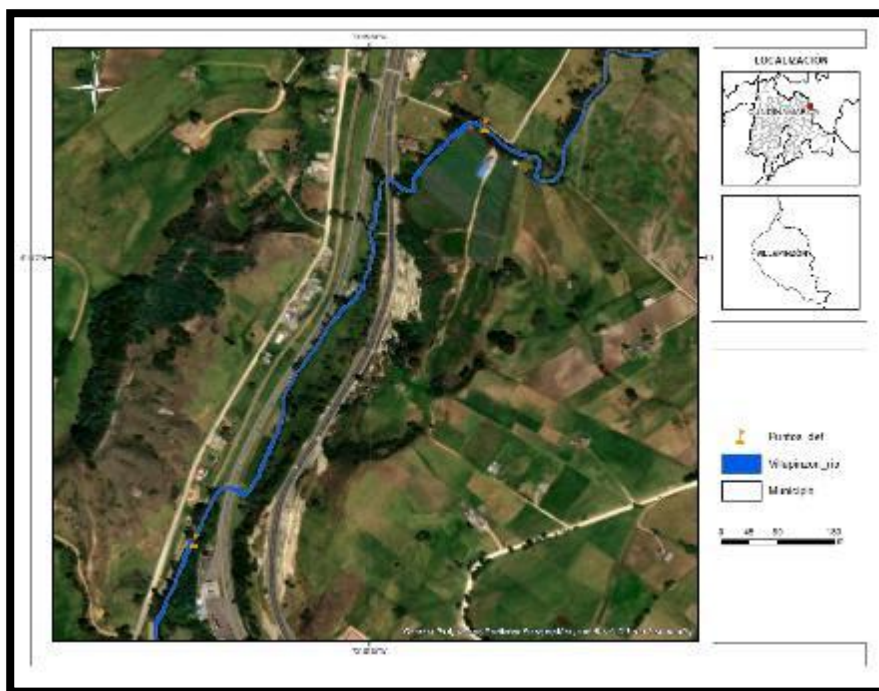
Tabla 2 Puntos finales de toma de muestras

Punto	Norte	Este
1	5°14'6,8924"	73°35'24,68"
2	5°13'45,663"	73°35'38,882"
3	5°13'15,103"	73°35'37,143"

Punto	Norte	Este
4	5°13'2,409"	73°35'53,233"
5	5°12'29,979"	73°36'12,026"
6	5°11'59,947"	73°36'26,42"
7	5°11'40,874"	73°36'49,599"
8	5°11'28,59"	73°37'21,799"
9	5°10'20,67"	73°38'39,137"
10	5°9'53,74"	73°39'3,86"

Fuente: Elaboración propia

Mapa 3 Puntos de toma de muestras

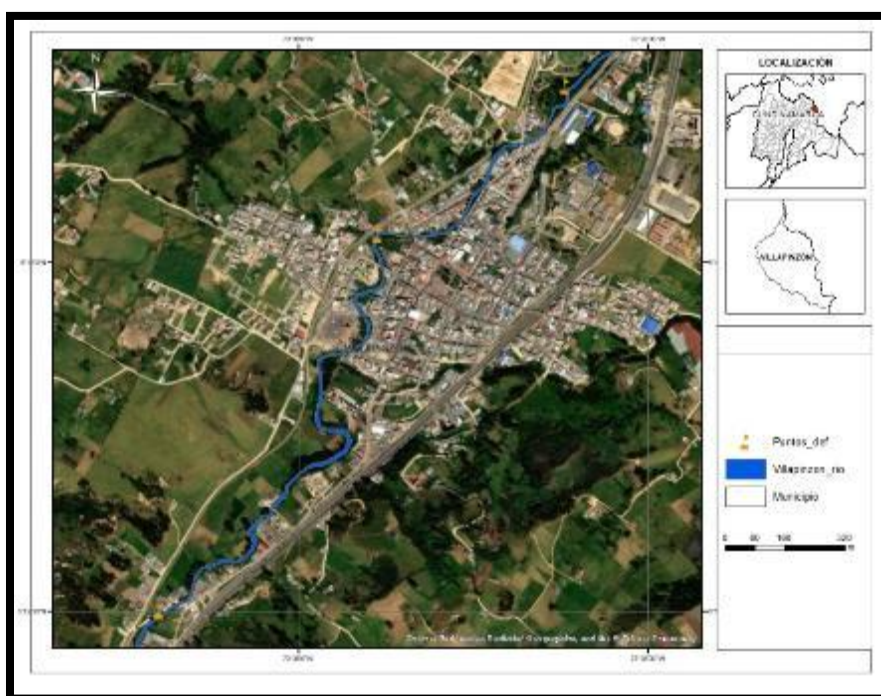


Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se presentan los dos primeros puntos de toma de muestra, ubicados en el tramo inicial del río Bogotá dentro del municipio, específicamente entre la llegada del río a la autopista y un sector aledaño a una estación de servicio. Estos puntos corresponden a zonas estratégicas para el análisis, ya que permiten evaluar las condiciones iniciales del recurso hídrico al ingreso al área de estudio, así como posibles influencias derivadas de actividades antrópicas

cercanas como puede ser las actividades agrícolas y ganaderas que se presentan en la parte alta del nacimiento del río.

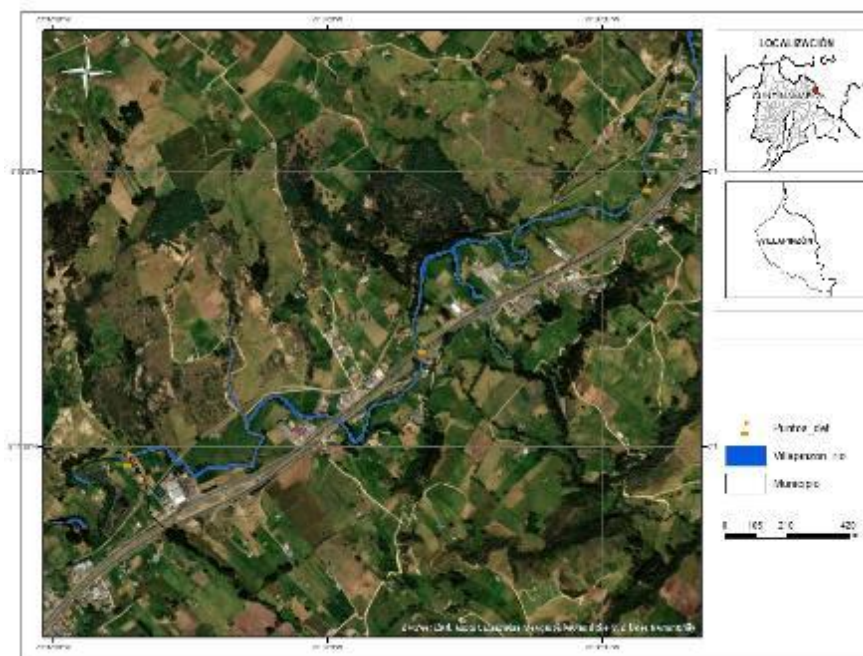
Mapa 4 Puntos toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el Mapa 4, se presentan los puntos de muestreo ubicados dentro del casco urbano del municipio. En esta zona confluyen diversas actividades de carácter comercial, doméstico, educativo y de servicios, las cuales pueden generar presiones sobre la calidad del recurso hídrico y afectar las condiciones ambientales del río. La distribución de estos puntos permite identificar la influencia de las dinámicas urbanas sobre el sistema fluvial. Esta sección del mapa abarca hasta el límite de la zona urbana, considerada como un área de alta incidencia antrópica en el municipio, marcando la transición hacia sectores con menor intervención directa.

Mapa 5 Puntos toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 5 se identifican los puntos de muestreo ubicados en la zona rural del municipio, específicamente en el sector donde se concentra la mayor cantidad de industrias de curtiembres. Esta localización resulta estratégica para el análisis, ya que permite evaluar la posible influencia de estas actividades industriales sobre la calidad del agua en un entorno con menor presencia de otras fuentes de contaminación urbana, facilitando así la identificación de presiones asociadas directamente a este tipo de actividad productiva.

Mapa 6 Puntos toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

En el Mapa 6 se identifican los puntos de muestreo ubicados sobre el río Bogotá en su tramo final dentro del municipio de Villapinzón. Estos puntos corresponden a la zona de salida del río del territorio municipal, permitiendo evaluar las condiciones del recurso hídrico una vez ha atravesado las diferentes áreas de influencia, tanto urbanas como rurales e industriales. Su localización resulta clave para analizar los posibles efectos acumulativos de las actividades desarrolladas en el municipio, así como para establecer una línea base de la calidad del agua en su transición hacia los tramos siguientes de la cuenca.

Como se puede observar en la tabla e imágenes anteriores, las coordenadas donde finalmente se realizaron las tomas de muestras presentan ligeras variaciones respecto a aquellas definidas inicialmente durante el proceso de selección en oficina (pre-campo). Esta diferencia se

debe a dificultades de acceso a algunos de los puntos previamente establecidos, lo que hizo necesario realizar ajustes en terreno para garantizar la ejecución adecuada de la campaña de muestreo. No obstante, estas modificaciones no afectan la representatividad ni la coherencia de la metodología planteada, ya que se mantuvo el criterio de distribución espacial y la cobertura del área de estudio a lo largo del río en el municipio.

4. Interpretación y análisis de resultados: ya con los resultados obtenidos de las campañas de recolección de muestras realizadas en terreno y la información secundaria de muestras realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR en para el año 2021 – segundo semestre, 2022 primer y segundo semestre y 2023 primer y segundo semestre, en la solicitud de información secundaria a la CAR se pidió información de los análisis realizados en el año 2024 y primer semestre 2025, pero esta no fue allegada, por tal motivo se realizó el análisis con la información disponible a la fecha, se realizó la interpretación y análisis de estos datos con el fin de identificar las condiciones de contaminación del río en los aspectos abordados en el presente trabajo y en los momentos de la toma de muestras; además mediante el análisis de documentación oficial se identificó que acciones de gobernanza se han realizado en torno a la descontaminación del Río Bogotá por parte de diferentes entidades de nivel local, regional y nacional.
5. Comparación con normatividad ambiental vigente: Los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo y la información secundaria recopilada fueron comparados con los valores de referencia establecidos en la Resolución 631 de 2015 del

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *la cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público*. Esta comparación permite determinar si los resultados se encuentran dentro de los parametros regulatorios aplicables.

6. Generación del documento con la propuesta de gestión y recuperación. Con la información adquirida y analizada anteriormente se genera el presente documento donde se muestra una propuesta de gestión para la recuperación del Río Bogotá en el sector de Villapinzón, teniendo en cuenta no solo aspectos técnicos sino desde la gobernanza del recurso hídrico y la participación de los diferentes actores sociales que influyen en este municipio.

6 Análisis y discusión de resultados

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente y teniendo en cuenta los puntos identificados en terreno a continuación se presenta la tabla con las ubicaciones definitivas donde se realizaron la toma de muestras sobre el Río Bogotá, las cuales cumplen con las indicaciones realizadas por el laboratorio escogido para el análisis de las muestras, además que estos puntos se hacen sobre todo el río en su paso por el municipio de Villapinzón.

Tabla 3. Puntos de muestreo

Punto	Norte	Este
1	5°14'6,8924"	73°35'24,68"
2	5°13'45,663"	73°35'38,882"
3	5°13'15,103"	73°35'37,143"
4	5°13'2,409"	73°35'53,233"
5	5°12'29,979"	73°36'12,026"
6	5°11'59,947"	73°36'26,42"
7	5°11'40,874"	73°36'49,599"
8	5°11'28,59"	73°37'21,799"
9	5°10'20,67"	73°38'39,137"
10	5°9'53,74"	73°39'3,86"

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan la distribución de los puntos de muestreo sobre el terreno, generados sobre imagen satelital, donde se identifican las zonas donde se tomaron las muestras para identificar la presencia de cromo hexavalente y plomo en el Río Bogotá en el paso del municipio de Villapinzón, como se puede analizar en las imágenes estos puntos estas distribuidos en zonas de entrada al municipio, a su paso sobre el casco urbano, a su salida del casco urbano donde se presentan la mayoría de las curtiembres, y en su finalización del paso del río sobre el municipio de Villapinzón y límites con el municipio de Chocontá, lo que se buscó con estos es tener un panorama general de la presencia o no de los parámetros analizados y su influencia de diferentes actividades presentes en el municipio (agricultura, comercio, vivienda e industria), con

el fin de realizar un análisis sobre el impacto de estas actividades sobre el municipio y despejar o confirmar los deferentes hipótesis sobre el factor contaminante del río.

Tabla 4 Resultados obtenidos en la primera campaña de toma de muestras

Punto	Norte	Este	Campaña 1			
			Cromo Hexavalente		Plomo	
			Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt	Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt
1	5°14'6,8924"	73°35'24,68"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
2	5°13'45,663"	73°35'38,882"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
3	5°13'15,103"	73°35'37,143"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
4	5°13'2,409"	73°35'53,233"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
5	5°12'29,979"	73°36'12,026"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
6	5°11'59,947"	73°36'26,42"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
7	5°11'40,874"	73°36'49,599"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
8	5°11'28,59"	73°37'21,799"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
9	5°10'20,67"	73°38'39,137"	0,030	<0,030	0,100	<0,100
10	5°9'53,74"	73°39'3,86"	0,030	<0,030	0,100	<0,100

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de análisis de muestras

Como se observa en la tabla anterior, de acuerdo con los resultados obtenidos de las muestras realizadas en el Río Bogotá en los diferentes puntos sobre el municipio de Villapinzón, en todos estos los resultados obtenidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación para cromo hexavalente y plomo.

Tabla 5 Resultados obtenidos en la Segunda campaña de toma de muestras

Punto	Norte	Este	Campaña 2			
			Cromo Hexavalente		Plomo	
			Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt	Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt
1	5°14'6,8924"	73°35'24,68"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
2	5°13'45,663"	73°35'38,882"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
3	5°13'15,103"	73°35'37,143"	0,03	<0,030	0,1	<0,100

Punto	Norte	Este	Campaña 2			
			Cromo Hexavalente		Plomo	
			Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt	Límite de Cuantificación mg/Lt	Resultado mg/Lt
4	5°13'2,409"	73°35'53,233"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
5	5°12'29,979"	73°36'12,026"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
6	5°11'59,947"	73°36'26,42"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
7	5°11'40,874"	73°36'49,599"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
8	5°11'28,59"	73°37'21,799"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
9	5°10'20,67"	73°38'39,137"	0,03	<0,030	0,1	<0,100
10	5°9'53,74"	73°39'3,86"	0,03	<0,030	0,1	<0,100

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de análisis de muestras

Igualmente, que en la primera campaña de toma de muestras, los resultados obtenidos de las muestras realizadas en el Río Bogotá en los diferentes puntos sobre el municipio de Villapinzón en la segunda campaña, los resultados obtenidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación para cromo hexavalente y plomo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo para los 10 puntos evaluados, se observa que las concentraciones reportadas de Cromo Hexavalente (Cr^{6+}) y Plomo (Pb) se encuentran por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos utilizados (0,030 mg/L para cromo hexavalente y 0,100 mg/L para plomo), indican resultados menores a los sugeridos en la norma.

Tabla 6 Datos referencia normatividad

Norma	Parámetro	Unidad	Valor máximo permisible por norma	Resultado
Resolución 631 de 2015 Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles	Cromo hexavalente (Cr^{6+})	mg/L	1.50	< 0,030
	Plomo (Pb)	mg/L	N/A	< 0,100
Resolución 2115 de 2007*	Cromo total	mg/L	0,050	< 0,030

	Plomo (Pb)	mg/L	0,010	< 0,100
Decreto 1575 de 2007	Calidad de agua para consumo humano	mg/L	Según parámetro evaluado	No cuantificable

*Valores referencia para consumo humano

Fuente: Elaboración propia con fuente en normatoividad

Esta condición implica que no se detectaron concentraciones cuantificables de estos metales en ninguno de los puntos muestreados. Al comparar estos resultados con los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se concluye que los niveles presentes son inferiores a los límites normativos aplicables, independientemente del tipo de vertimiento, dado que los límites de cuantificación ya se encuentran por debajo de dichos valores de referencia.

El Decreto 1575 de 2007 establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, mientras que la Resolución 2115 de 2007 define las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia, incluyendo los valores máximos permisibles para sustancias de interés sanitario.

De acuerdo con esta normativa:

El valor máximo permisible para plomo en agua para consumo humano es 0,010 mg/L.

El cromo total tiene un límite máximo de 0,050 mg/L (la norma regula cromo total, dentro del cual se incluye el cromo hexavalente).

Al comparar estos valores con los resultados analíticos, se tiene que:

- Para cromo hexavalente, los resultados (< 0,030 mg/L) se encuentran por debajo del valor máximo permisible para cromo total (0,050 mg/L), lo que indica cumplimiento.

- Para plomo, aunque el límite de cuantificación del método es 0,100 mg/L, superior al valor normativo (0,010 mg/L) (Resolución 2115 de 2007), los resultados reportados indican que la concentración real es inferior a dicho límite de detección; sin embargo, desde el punto de vista técnico, no es posible confirmar con total certeza el cumplimiento estricto frente al valor normativo, dado que el método analítico no tiene la sensibilidad suficiente para verificar concentraciones tan bajas.

Sin embargo, es importante precisar que el presente monitoreo no corresponde a evaluación de agua para consumo humano, por lo que los valores establecidos en la Resolución 2115 de 2007 se consideran únicamente como referencia orientativa y no como criterio de cumplimiento obligatorio para este estudio.

En este contexto, los resultados obtenidos sugieren ausencia de contaminación significativa por plomo, aunque, para evaluaciones específicas de potabilidad, sería necesario emplear métodos analíticos con límites de cuantificación acordes a los valores normativos aplicables.

En consecuencia, todos los puntos evaluados cumplen con los parámetros establecidos en la normativa vigente para cromo hexavalente y plomo, evidenciando la ausencia de contaminación significativa por estos metales en el área monitoreada durante la campaña analítica.

Teniendo en cuenta resultados obtenidos en las dos campañas de muestreo, se realizó la validación de componentes ambientales asociados a posibles puntos de vertimiento y su influencia sobre las características del río Bogotá en el municipio de Villapinzón. En términos de factores bioquímicos y químicos, los resultados de cromo hexavalente (Cr^{6+}) y plomo (Pb) en los puntos

evaluados se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método analítico, lo que indica que, durante los periodos de muestreo, no se evidencian concentraciones detectables de estos metales en la columna de agua.

Sin embargo, desde un enfoque ambiental integral, estos resultados deben interpretarse considerando la dinámica del sistema fluvial. La ausencia de valores cuantificables no descarta la posible presencia de contaminantes, ya que procesos como la dilución por caudal, la dispersión hidráulica, la sedimentación y las transformaciones fisicoquímicas (por ejemplo, la reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente) pueden influir en su comportamiento y limitar su detección en el agua superficial. Asimismo, es relevante considerar que los metales pesados tienden a adsorberse en sedimentos, lo que puede generar acumulaciones que no son evidentes en análisis puntuales del agua.

En relación con los posibles puntos de vertimiento, la cercanía de actividades industriales, especialmente curtiembres, sugiere una potencial influencia sobre el río, aunque en las condiciones evaluadas no se haya reflejado en concentraciones detectables de los parámetros analizados. Esto puede estar asociado a factores como la operación de las PTAR, la variabilidad en las descargas o las condiciones hidrológicas al momento del muestreo.

Finalmente, en cuanto a la influencia en el flujo y características del río, es importante señalar que la dinámica hidráulica del sistema favorece procesos de mezcla y transporte de contaminantes, lo que puede generar una distribución heterogénea de los mismos a lo largo del cauce. Por ello, aunque los resultados cumplen con la normativa vigente, es necesario complementar el análisis con otros parámetros bioquímicos (como DBO, DQO, oxígeno disuelto) y estudios en sedimentos, así como mantener un monitoreo continuo, para lograr una evaluación

más completa de la influencia de los vertimientos sobre el comportamiento y la calidad ambiental del río.

6.1 Información entregada por CAR Cundinamarca

Mediante solicitud realizada por medio de la ventanilla de radicación de la entidad, se solicitó información obtenida por la corporación en cuanto a los análisis y monitoreo realizado en el Río Bogotá específicamente en el municipio de Villapinzón, obteniendo respuesta por parte de la corporación en la cual se presentan los resultados de los monitoreos realizados en el periodo de octubre de 2021 a octubre de 2023, no se recibieron resultados del monitoreo realizado por la corporación durante el 2024, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados entregados por la corporación en lo referente a cromo hexavalente y plomo, parámetros analizados en el presente documento (Anexo 3).

Tabla 7 Resultados de análisis de cromo hexavalente y plomo entregado por la CAR

PUNTO	FECHA	CROMO HEXAVALENTE		PLOMO	
		LIMITE CUANTIFICACIÓN mg/lt	RESULTADO	LIMITE CUANTIFICACIÓN mg/lt	RESULTADO
RIO BOGOTA AGUAS ARRIBA VILLAPINZON	26/10/2021	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA PUENTE VILLAPINZON	26/10/2021	0,1	<0,10	0,04	<0,040
AGUAS ARRIBA QUEBRADA QUINCHA	26/10/2021	0,1	<0,10	0,04	<0,040
QUEBRADA QUINCHA	26/10/2021	0,1	<0,10	0,04	<0,040
ESTACION LM CHINGACIO	26/10/2021	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA AGUAS ARRIBA VILLAPINZON	14/03/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA PUENTE VILLAPINZON	14/03/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
AGUAS ARRIBA QUEBRADA QUINCHA	14/03/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
QUEBRADA QUINCHA	15/03/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA AGUAS ARRIBA VILLAPINZON	7/10/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA PUENTE VILLAPINZON	7/10/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040

PUNTO	FECHA	CROMO HEXAVALENTE		PLOMO	
		LIMITE CUANTIFICACIÓN mg/lt	RESULTADO	LIMITE CUANTIFICACIÓN mg/lt	RESULTADO
AGUAS ARRIBA QUEBRADA QUINCHA	7/10/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
QUEBRADA QUINCHA	9/10/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
ESTACION LM CHINGACIO	9/10/2022	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA AGUAS ARRIBA VILLAPINZON	9/02/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA PUENTE VILLAPINZON	9/02/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
AGUAS ARRIBA QUEBRADA QUINCHA	9/02/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
QUEBRADA QUINCHA	9/02/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA AGUAS ARRIBA VILLAPINZON	2/10/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
RIO BOGOTA PUENTE VILLAPINZON	2/10/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
AGUAS ARRIBA QUEBRADA QUINCHA	2/10/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
QUEBRADA QUINCHA	2/10/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040
ESTACION LM CHINGACIO	2/10/2023	0,1	<0,10	0,04	<0,040

Fuente: CAR, 2025

Como se observa en la tabla xx de acuerdo a los resultados de monitoreo realizados entre los años 2021 a 2023 en los diferentes puntos del río Bogotá y la quebrada Quincha sobre el municipio de Villapinzón, se evaluaron los parámetros de Cromo Hexavalente (Cr^{6+}) y Plomo (Pb) frente a los lineamientos establecidos en el Acuerdo 17 de 2020 de la CAR Cundinamarca, el cual fija objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá.

Los resultados reportados para ambos parámetros se expresan como menores al límite de cuantificación de los métodos utilizados, es decir:

- Cromo hexavalente: < 0,10 mg/L
- Plomo: < 0,040 mg/L

Esto indica que no se detectaron concentraciones cuantificables de estos metales en ninguno de los monitoreos realizados a lo largo del periodo evaluado.

Al contrastar estos resultados con los criterios de calidad definidos en el Acuerdo 17 de 2020, se evidencia que los valores registrados se encuentran por debajo de los niveles de referencia establecidos, lo que permite inferir el cumplimiento de los objetivos de calidad del agua para estos parámetros en los tramos evaluados.

Tabla 8 Datos de referencia informados por CAR

Norma	Parámetro	Unidad	Valor máximo permisible por norma	Resultado
Acuerdo No. 17 de 2020. Valores de los usos para generación de energía y uso Industria	Cromo hexavalente (Cr^{6+})	mg/L	0,05	< 0,10
	Plomo (Pb)	mg/L	0,05	< 0,04

Fuente: Elaboración propia con base en Acuerdo 017

De acuerdo al Acuerdo No.17 de 2020 donde se establecen los objetivos de calidad que permiten controlar la contaminación del recurso hídrico en el Río Bogotá, para el área de estudio incluida en la Cuenca río Alto Bogotá, que comprende la cabecera hasta la desembocadura del río Sisga, para la zona entre el casco urbano de Villapinzón hasta la desembocadura del río Sisga corresponde a CLASE II.- Corresponde a valores de los usos del agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional, uso agrícola con restricciones y uso pecuario.

Es importante señalar que, tanto los datos suministrados por la CAR como los generados en el marco del presente estudio, permiten establecer un panorama general sobre el estado del Río en el municipio de Villapinzón en relación con la presencia de cromo hexavalente (Cr^{6+}) y plomo (Pb) en los últimos años. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse como una representación puntual de las condiciones existentes al momento del muestreo y no como una evaluación definitiva sobre la presencia o ausencia de dichos elementos en el sistema hídrico.

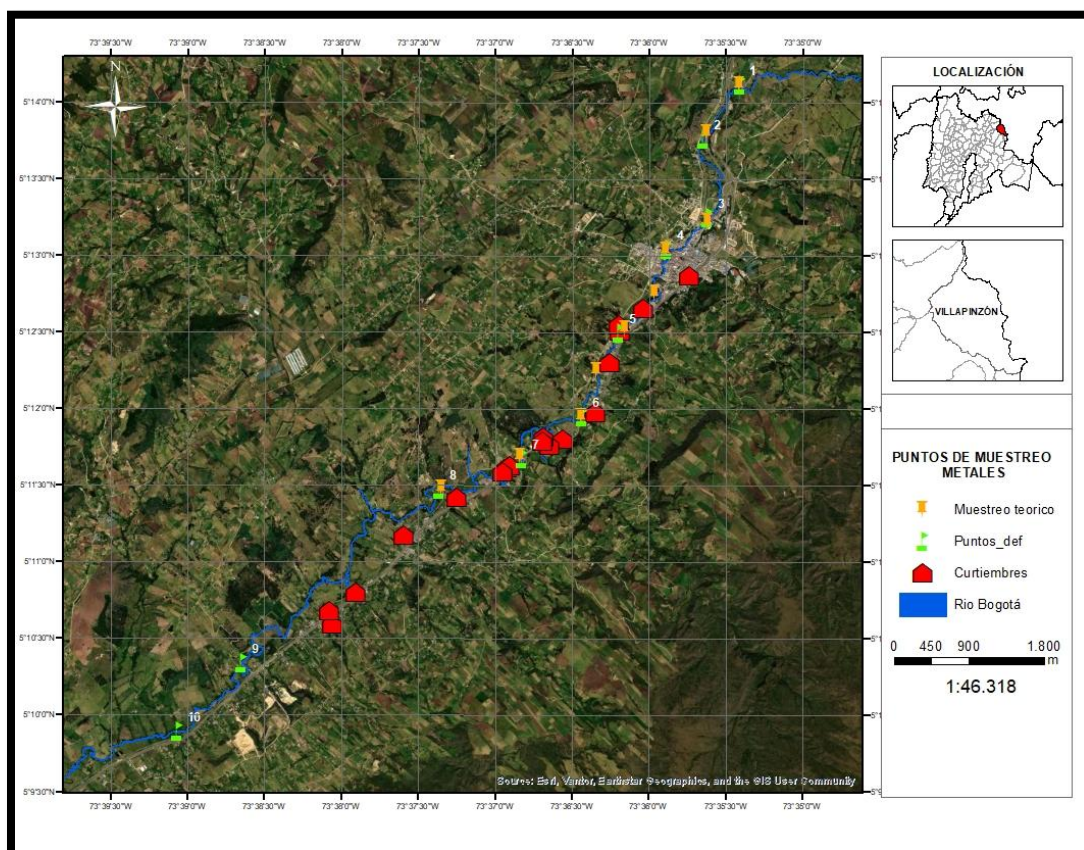
6.2 Discusión

En cuanto al análisis de resultados y la discusión del presente documento, este estará enfocado con el propósito de formular una propuesta integral de recuperación frente a los impactos generados por la contaminación. Este enfoque busca considerar de manera más amplia y articulada los diferentes factores que intervienen en la gestión del Río Bogotá en el municipio de Villapinzón.

De igual manera, el análisis se desarrollará en coherencia con los objetivos secundarios propuestos, permitiendo evaluar de forma específica cada uno de los componentes identificados en el estudio, tales como la calidad del agua, la presencia de contaminantes, las dinámicas territoriales y los aspectos asociados a la gestión ambiental. Esto garantizará una interpretación más estructurada de la información y facilitará la formulación de medidas de manejo y recuperación acordes con la problemática identificada.

6.2.1. Identificación y caracterización las fuentes de contaminación por plomo y cromo hexavalente

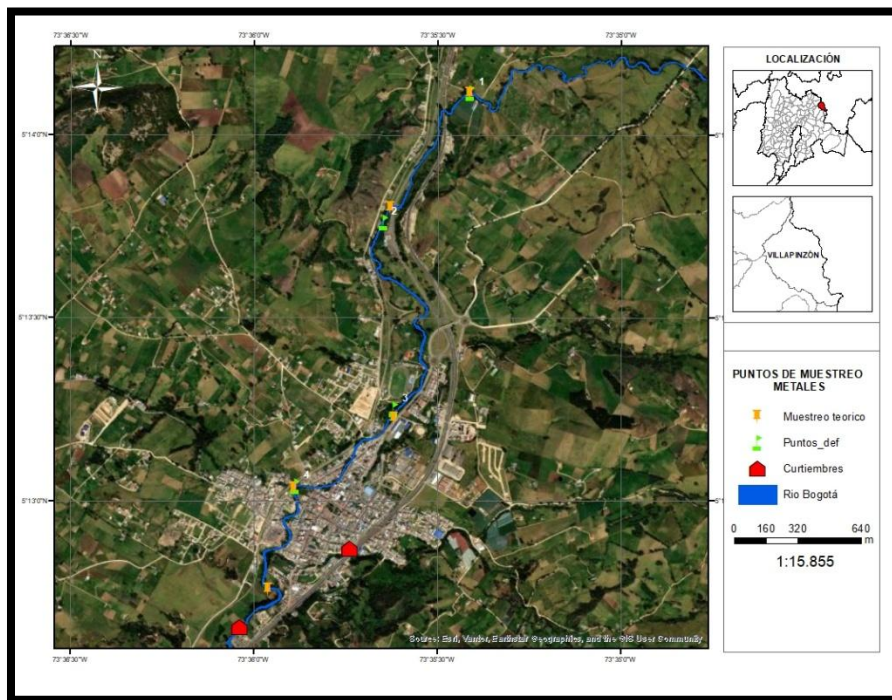
Mapa 7 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón



Fuente: Elaboración propia

En el mapa anterior se presenta el mapa de identificación de los puntos de muestreo sobre el río Bogotá en el municipio de Villapinzón, en el cual se evidencia la distribución de los puntos a lo largo del cauce principal. El mapa integra la ubicación de los puntos de monitoreo establecidos, tanto teóricos como ajustados en campo, así como la localización de las industrias de curtidos, representadas como posibles fuentes de presión sobre el recurso hídrico. Se observa una concentración significativa de estas actividades en el tramo medio del municipio, lo que permitió orientar estratégicamente la ubicación de los puntos de muestreo para evaluar su influencia.

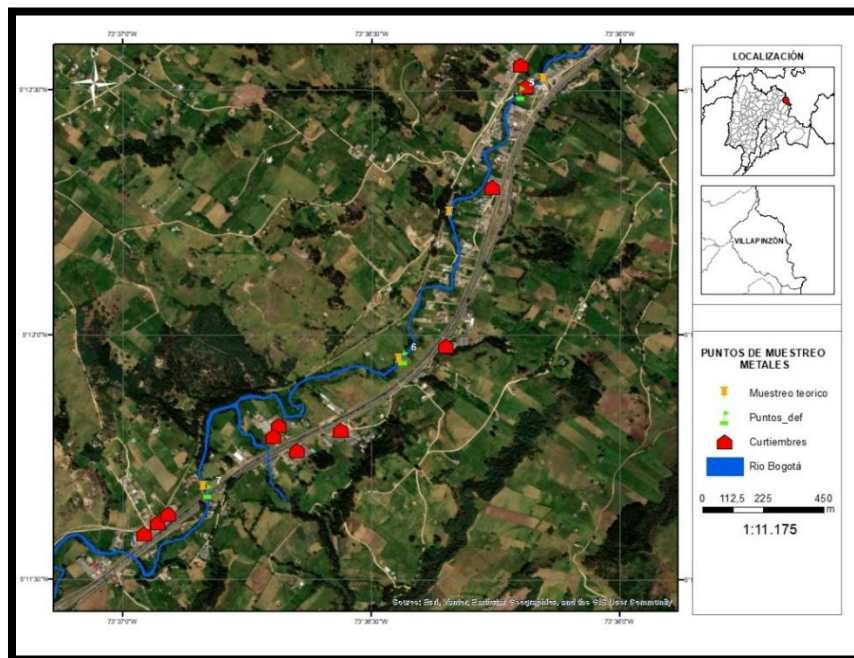
Mapa 8 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón parta alta y casco urbano



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 8 corresponde al primer tramo inicial del río Bogotá en el municipio de Villapinzón objeto del presente estudio, allí se identifican los primeros puntos de muestreo distribuidos a lo largo del cauce. En este sector se evidencia la localización de los puntos tanto teóricos como ajustados en campo, así como la presencia incipiente de actividades antrópicas, incluyendo algunas industrias de curtiembres cercanas al área urbana. La disposición de estos puntos permite evaluar las condiciones iniciales del recurso hídrico al ingreso al municipio y analizar la influencia progresiva de las actividades humanas sobre el río. Asimismo, el mapa incorpora elementos cartográficos como la red hídrica, la infraestructura vial y la delimitación del área urbana, facilitando la interpretación espacial de la información recolectada.

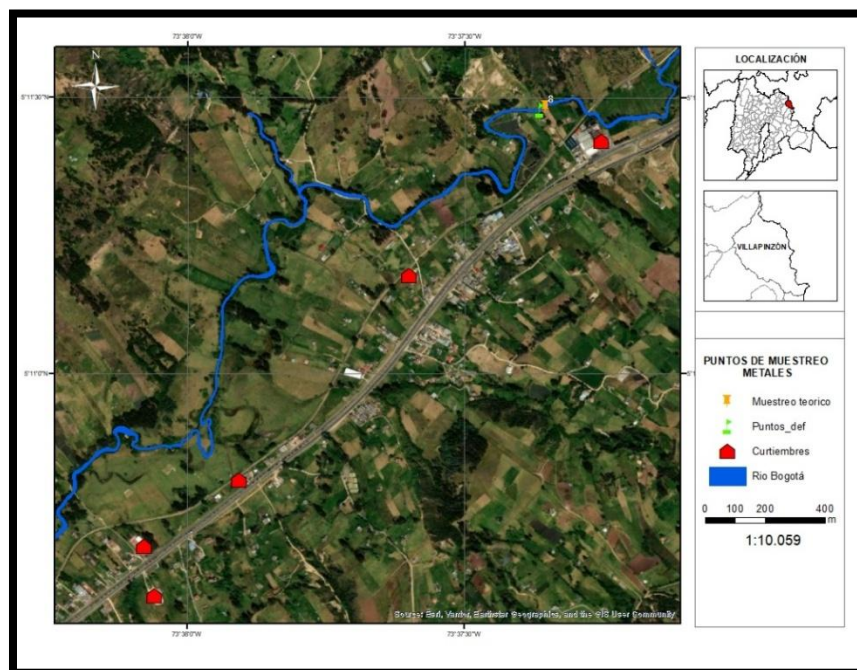
Mapa 9 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón



Fuente: Elaboración propia

En el mapa anterior se presenta el mapa correspondiente a un tramo intermedio–rural del río Bogotá en el municipio de Villapinzón, donde se identifican varios puntos de muestreo distribuidos a lo largo del cauce. En este sector se evidencia una concentración significativa de industrias de curtiembres, representadas cartográficamente, lo que permite reconocer esta zona como una de las de mayor presión antrópica de origen industrial sobre el recurso hídrico. La ubicación de los puntos de muestreo en este tramo resulta estratégica, ya que posibilita evaluar la influencia directa de estas actividades sobre la calidad del agua, en un contexto donde, aunque el entorno es predominantemente rural, existe una alta presencia de procesos productivos asociados al curtido de pieles.

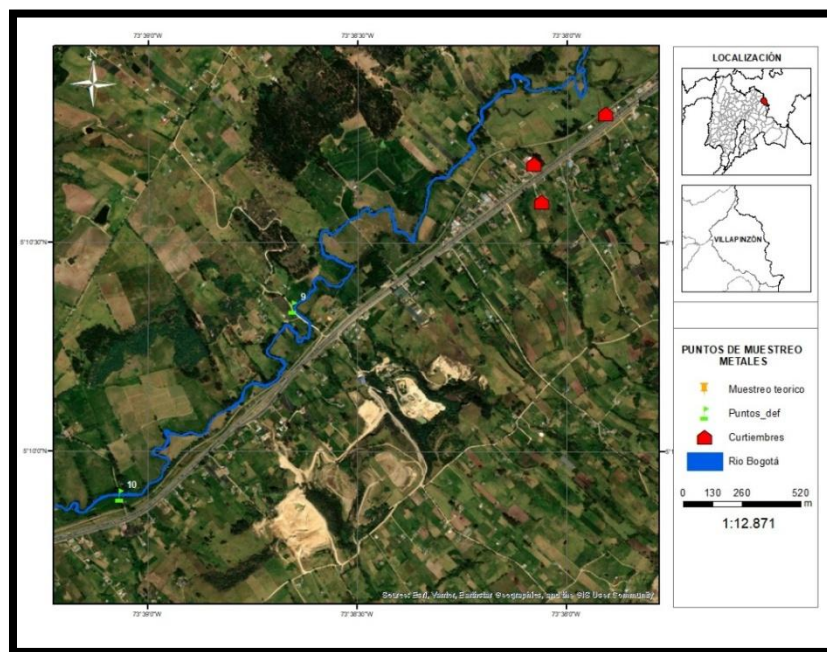
Mapa 10 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón



Fuente: Elaboración propia

El mapa anterior correspondiente al tramo final del río Bogotá dentro del municipio de Villapinzón, donde se identifican los últimos puntos de muestreo antes de su salida del territorio municipal. En este sector se observa un entorno predominantemente rural, con menor densidad de actividades urbanas, aunque aún se evidencia la presencia puntual de industrias de curtiembres cercanas al cauce del río. La ubicación de estos puntos resulta relevante para evaluar las condiciones finales del recurso hídrico después de haber recibido la influencia acumulada de las actividades desarrolladas aguas arriba, tanto urbanas como industriales. De esta manera, este tramo permite analizar el efecto integrado de las presiones antrópicas sobre la calidad del agua y establecer una referencia para su comportamiento aguas abajo en la cuenca.

Mapa 11 Puntos de muestreo vs Curtiembres Villapinzón



Fuente: Elaboración propia

El mapa 11 correspondiente al tramo final del río Bogotá en el municipio de Villapinzón, donde se localizan los últimos puntos de muestreo antes de la salida del río del territorio municipal. En este sector se evidencia un entorno predominantemente rural, caracterizado por actividades agropecuarias y menor densidad de asentamientos urbanos; sin embargo, aún se identifican algunas industrias de curtiembres cercanas al corredor vial y al cauce del río. La disposición de estos puntos permite evaluar las condiciones finales de la calidad del agua tras la influencia acumulada de las actividades desarrolladas a lo largo del municipio, tanto en zonas urbanas como en áreas industriales. De esta manera, este tramo resulta clave para analizar el efecto integrado de las presiones antrópicas y establecer una referencia del estado del recurso hídrico hacia los tramos inferiores de la cuenca.

De acuerdo con las imágenes anteriores, se evidencia una alta proximidad espacial entre las curtiembres (representadas en rojo) y los puntos de toma de muestras (puntos verdes) a lo largo del cauce del río Bogotá en el municipio de Villapinzón, lo que sugiere una relación directa entre las zonas de actividad industrial y los puntos de monitoreo ambiental.

En la zona media del río Bogotá sobre el municipio de Villapinzón, donde se concentra la mayor densidad de curtiembres, también se observa una mayor concentración de puntos de muestreo, lo cual indica que las campañas de monitoreo fueron ubicadas en áreas con potencial mayor impacto por vertimientos. Esta distribución sugiere que los puntos de muestreo buscan captar la influencia de estas actividades, particularmente en tramos donde las curtiembres se encuentran muy cerca o incluso contiguas al río.

Igualmente, se identifica que varios puntos de muestreo están localizados aguas abajo de agrupaciones de curtiembres, lo que permite evaluar el efecto acumulativo de las descargas industriales sobre la calidad del agua. En contraste, en las zonas altas y bajas del mapa donde hay menor presencia de curtiembres, los puntos de muestreo son más dispersos, usados como referencia.

En conjunto, el patrón espacial observado evidencia una correlación clara entre la ubicación de las curtiembres y el diseño del monitoreo, orientado a evaluar la influencia de estas actividades sobre el río, lo cual es fundamental para identificar focos de contaminación y priorizar medidas de control y restauración.

Este análisis espacial evidencia que la proximidad entre las curtiembres y los puntos de toma de muestras puede llegar a incidir directamente en la calidad del agua del río, debido a la descarga de efluentes con alta carga contaminante derivados del proceso de curtido. En este

sentido, Bhardwaj, Kumar y Singh (2023) y García Juárez et al. (2022) señalan que estos efluentes contienen sustancias como cromo, sulfuros y compuestos orgánicos que incrementan parámetros críticos como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos disueltos y generan alteraciones en el pH del agua. De manera particular, Ordoñez Burbano y Benítez-Campo (2019), junto con Borda-Prada (2015), destacan que el cromo es el principal contaminante asociado a esta actividad industrial, debido a su alta toxicidad y sus efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana, incluyendo potenciales efectos mutagénicos y carcinogénicos. Asimismo, Chamon et al. (2023) y Silva et al. (2025) evidencian que las concentraciones de metales pesados y otros contaminantes tienden a incrementarse en puntos ubicados aguas abajo de las zonas de vertimiento, lo que refleja un efecto acumulativo y una degradación progresiva de la calidad del agua. En este contexto, la ubicación de los puntos de monitoreo cerca de las curtiembres permite evaluar de manera directa la magnitud de su impacto, confirmando que su cercanía constituye un factor determinante en la presión ambiental sobre el sistema hídrico.

No obstante, es importante precisar que, aunque en las dos campañas de muestreo realizadas en el municipio los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente, esto no implica la ausencia de influencia de las curtiembres sobre las condiciones del río, ya que los efectos de estos vertimientos pueden ser acumulativos, variables en el tiempo y depender de factores como el caudal, la frecuencia de descarga y las condiciones hidrológicas del sistema.

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2025), y con base en los informes presentados por el municipio ante el Consejo Estratégico de Cuenca Hidrográfica (CECH), en relación con el número de actores involucrados, los procesos productivos y la

caracterización de vertimientos en el sector de curtiembres, el municipio de Villapinzón reporta la existencia de 32 empresas dedicadas al curtido, recurtido y teñido de pieles. Estas empresas cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que evidencia un avance significativo en la implementación de medidas para la gestión y control de la contaminación hídrica asociada a esta actividad. No obstante, la mera existencia de estos sistemas no garantiza por sí sola la eliminación total de los contaminantes, ya que su eficiencia depende de factores como la operación, el mantenimiento y las condiciones de carga de los efluentes.

En este contexto, el municipio ha desarrollado diversas acciones orientadas a fortalecer la sostenibilidad de la actividad, incluyendo procesos de cofinanciación y capacitaciones dirigidas a la adopción de prácticas de producción más limpia, lo que contribuye a la reducción en la generación de contaminantes desde la fuente. Asimismo, se destaca la contratación de servicios para apoyar la operación y administración del Centro Tecnológico del Cuero, instancia clave para el acompañamiento técnico del sector, el fortalecimiento de capacidades locales y la promoción de tecnologías más eficientes y ambientalmente sostenibles. Estas acciones se enmarcan en el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Sentencia del Río Bogotá, así como en otras estrategias de gestión ambiental implementadas en el municipio.

A pesar de estos avances institucionales y técnicos, resulta importante considerar que la actividad curtiembre continúa representando una fuente potencial de presión sobre el recurso hídrico, particularmente en escenarios donde pueden presentarse fallas operativas, descargas no controladas o limitaciones en la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Por lo tanto, se hace necesario mantener y fortalecer los procesos de monitoreo, seguimiento y control ambiental, con el fin de garantizar que las condiciones de calidad del agua se mantengan dentro de los estándares normativos y se minimicen los impactos acumulativos sobre el río y su cuenca.

6.2.2. Evaluación de los resultados obtenidos en laboratorio y compararlos con los límites -establecidos en la Resolución 0631 de 2015 para Cromo VI y Plomo usados en la industria de curtiembres en el municipio de Villapinzón.

De acuerdo con lo señalado por Suárez Escobar et al. (2012), quienes realizaron campañas de muestreo en diferentes puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo de las curtiembres presentes en el municipio de Villapinzón, se incluyó dentro de los parámetros analizados la determinación de cromo hexavalente (Cr^{6+}). En dicho estudio se evidenció la presencia de este elemento; sin embargo, las concentraciones registradas, al igual que las obtenidas en el presente trabajo, se encontraron por debajo de los límites establecidos por la normatividad vigente. Los autores indican que este comportamiento puede estar asociado a las condiciones fisicoquímicas del medio, especialmente al pH del agua, el cual favorece la reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente (Cr^{3+}), especie menos soluble que tiende a precipitarse y acumularse en los sedimentos.

En este contexto, es importante destacar que la no detección de concentraciones elevadas de Cr^{6+} en la columna de agua no implica necesariamente la ausencia de contaminación por compuestos cromados, ya que estos pueden transformarse y persistir en otras formas químicas dentro del sistema hídrico. Por lo tanto, se recomienda complementar los análisis con la determinación de cromo total y cromo trivalente, así como con estudios en sedimentos y biota, a fin de obtener una evaluación más integral del comportamiento del metal en el sistema. De igual manera, la presencia de Cr^{3+} puede constituir un indicador indirecto del manejo y disposición de los compuestos utilizados en los procesos de curtido, especialmente en escenarios donde la eficiencia de los sistemas de tratamiento no es óptima o donde se presentan descargas intermitentes. En consecuencia, resulta fundamental fortalecer los programas de monitoreo y

control ambiental, incorporando análisis multicompartimentales y evaluaciones temporales que permitan identificar de manera más precisa la influencia de la actividad curtiembre sobre la calidad del recurso hídrico.

De igual forma, con base en la información secundaria recopilada, se identificó que no se reportaron niveles significativos de **chromo hexavalente (Cr^{6+})** en ninguna de las estaciones consideradas en el presente estudio. Al contrastar estos resultados con los obtenidos por (Cubillos Arévalo & Delgado Perdigon, 2016), se evidencia nuevamente una coincidencia con los análisis y resultados alcanzados en este proyecto. Estos hallazgos respaldan la conclusión de que la ausencia de detección de los parámetros analizados no implica necesariamente que el Río esté libre de contaminación, sino que, en los momentos y lugares específicos en los que se efectuó el muestreo, no se presentaron vertimientos cercanos que pudieran haber influido en una variación de los resultados.

Así mismo de acuerdo con (Gobernación de Cundinamarca & Universidad de la Salle, 2016), relacionado con el monitoreo realizado cuyos resultados obtenidos indican que dentro de los metales pesados de mayor relevancia se encuentra el Cromo, presentándose dos picos críticos correspondientes a los vertimientos de la industria de las curtiembres de los municipios de la cuenca alta y de la Cuenca del Tunjuelo. El Plomo no presenta ninguna limitación para los usos agrícola y de generación de energía eléctrica, ya que su concentración únicamente sobrepasa el estándar de calidad para uso potable, que es muy estricto menor o igual a 0.05 mg/L, esto corrobora en parte los resultados obtenidos por los autores del presente documento en cuanto a que los dos metales analizados no sobrepasan los límites mínimos establecidos por la norma

Si bien el uso del plomo no es común en los procesos de curtido, su presencia puede estar asociada a ciertos tintes y pigmentos utilizados en las etapas de teñido y acabado del cuero. En este sentido, al igual que ocurre con el cromo, el hecho de que en los análisis de calidad del agua no se haya detectado este tipo de metal pesado o que sus concentraciones se encuentren por debajo de los límites normativos no implica necesariamente su ausencia en el sistema ni que no esté siendo utilizado en la industria.

Esto se debe a que factores como la dinámica hidrológica, los procesos fisicoquímicos del agua, la eficiencia de los sistemas de tratamiento y la posible acumulación en sedimentos pueden limitar su detección en la columna de agua en determinados momentos. Por lo tanto, resulta fundamental interpretar los resultados de monitoreo con un enfoque integral, considerando la posibilidad de transformaciones químicas, almacenamiento en otros compartimentos ambientales y variabilidad temporal en las descargas, lo que permite una comprensión más precisa de la influencia real de la actividad industrial sobre las condiciones del recurso hídrico.

6.2.3. Formulación de propuestas de recuperación ecosistémica, que orienten acciones integradas de gestión y coordinación entre los sectores público y privado.

Para la elaboración del presente documento, se ha identificado en información secundaria el análisis de la contaminación del Río Bogotá, solo se establecen análisis, discusiones y soluciones enfocadas al componente técnico (metodologías, prácticas, análisis generados hacia la descontaminación), lo cual es necesario para la generación de una línea base del estado actual del área de estudio, sin embargo, si bien estamos de acuerdo en los análisis técnicos, proponemos que

estos no solo deben estar enfocados hacia una metodología, un paso a paso para disminuir el factor tensionante, uno de estos factores a tener en cuenta es la gobernanza del agua, la cual reconoce al recurso hídrico como un elemento esencial para la vida y resalta la importancia de su gestión mediante procesos de coordinación, articulación y cooperación entre los distintos actores sociales, institucionales y sectoriales involucrados. Este enfoque considera al territorio y a la cuenca hidrográfica como componentes activos en la toma de decisiones y en la implementación de acciones conjuntas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Es así que la gobernanza y gobernabilidad entorno al recurso hídrico debe estar enmarcada en líneas o factores que relacionen las actividades económicas, sociales, culturales ya que estas siempre están ligadas en este caso a la problemática ambiental relacionada con la contaminación del Río Bogotá.

Entorno a las acciones de gobernanza que el municipio de Villapinzón de acuerdo con (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025) ha implementado en torno a la disminución del factor tensionante de la contaminación del río entre otro con la implementación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, donde se han incorporado lo relacionado a la gestión de residuos provenientes de las curtiembres, así como la realización de reuniones y capacitaciones focalizadas en temas como producción más limpia, economía circular, procesos y obtención de permisos ante la CAR, y otros aspectos relacionados con el cumplimiento de la normativa ambiental en sus procesos productivos.

Como lo indica (Díaz Gil, 2020), la participación ciudadana en acciones orientadas al cuidado de la biodiversidad, el uso sostenible del recurso hídrico, la recuperación de las fuentes hídricas y la creación de espacios de adaptación frente a fenómenos extremos como sequías o lluvias intensas resulta un componente fundamental en la gestión ambiental de la cuenca del Río

Bogotá. Estas iniciativas permiten promover propuestas que fortalecen el manejo y la protección del entorno natural, constituyéndose en una herramienta clave para la inclusión y el empoderamiento comunitario.

Teniendo en cuenta lo anterior y basándonos en los resultados obtenidos así como en las diferentes conversaciones con múltiples actores del municipio de Villapinzón, encontramos que si bien el municipio, las autoridades ambientales y demás entidades gubernamentales que intervienen en la generación de acciones para la solución de la problemática ambiental en Villapinzón, muchas de estas no se encuentran articuladas entre ellos, vemos como diferentes proyectos o convenios se encuentran actualmente paralizados por la falta de requisitos, diseños, planos, etc., ocasionando retrasos en el cumplimiento de las acciones proyectadas y el detrimento constante de la calidad del río, igualmente, no se observa una articulación municipio comunidad solo se reporta la realización de algunas capacitaciones, pero no se observa el monitoreo y acompañamiento del municipio a los sectores involucrados con la industria curtiembre.

Así mismo, estamos de acuerdo con lo expuesto por (Díaz Gil, 2020), en cuanto a que, aunque atención centrada en la cuenca, en este caso en el municipio de Villapinzón falta mucha más información que se concentre en la efectividad, la confianza y la participación, de todos los actores involucrados en dar respuesta a la problemática establecida, ya que se observan esfuerzos separados que no se articulan para llegar a un fin común.

Los diferentes trabajos y propuestas encaminadas hacia la recuperación de fuentes hídricas afectadas por contaminación de metales pesados, se encuentra: la biorremediación, en este caso (Beltrán Pineda & Gómez Rodríguez, 2016), exponen que los microorganismos desempeñan un papel esencial en la modificación de las concentraciones de metales pesados en los ecosistemas,

debido a que poseen mecanismos tanto enzimáticos como no enzimáticos que facilitan la eliminación de estos elementos en solución. Diversas investigaciones han demostrado que la capacidad de bacterias, microalgas y hongos para remover metales es superior a la alcanzada mediante métodos fisicoquímicos convencionales. Por otra parte, las plantas hiperacumuladoras o metalófitas presentan una notable capacidad para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar metales pesados, gracias a su eficiente acumulación en raíces y su translocación hacia distintos órganos vegetativos, alcanzando niveles de remoción de hasta el 100 %. En este sentido, las tecnologías de microremediación y fitorremediación se reconocen como alternativas biotecnológicas promisorias para el tratamiento de la contaminación por metales pesados, demostrando su eficacia tanto en estudios de laboratorio como en aplicaciones de campo para la recuperación de ambientes degradados, sin embargo los costos extrapolados a ecosistemas o áreas tan grandes como el Río Bogotá, y otras fuentes hídricas hacen que solo depender de una de estas acciones de recuperación de la contaminación no llegue a ser la opción más viable.

Es por esto que no solo deben existir metodologías técnicas para la descontaminación, sino que estas deben ser engranadas con acciones sociales, económicas y de gobernanza que generen que las propuestas de recuperación sean vistas de una manera más armoniosa con todos los actores que influyen en la cuenca.

Dentro de los avances presentados por el municipio de Villapinzón desde el componente técnico en torno a la descontaminación del Río Bogotá, están las entregadas mediante comunicación (documento anexo) el 24 de septiembre de 2025, (Municipio de Villapinzón, 2025) indica que en torno a la descontaminación el municipio firmo convenio interadministrativo 1990 de 2021 con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca con el objeto de construir la

planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR- del municipio de Villapinzón, el cual a la fecha se encuentra suspendido sin embargo el municipio ya cuenta con los predios necesarios para iniciar la construcción; igualmente, indica el municipio que se han venido realizando acciones de cambio de las redes de alcantarillado urbano con el fin de minimizar la contaminación hacia el río; si bien el municipio indica que se han venido realizando los respectivos convenios con la gobernación de Cundinamarca para reactivar el centro tecnológico del cuero, aspecto importante porque esto ayuda a la generación de alternativas de sostenibilidad para la industria del cuero realizando sus actividades con una sostenibilidad ambiental, si bien la firma de convenios es un primer paso importante, aun no se presentan actividades que muestren el seguimiento o monitoreo que el municipio realice a las empresas curtidoras presentes en el municipio, esto genera vacíos en el actuar de la administración municipal en torno al seguimiento y monitoreo de estas industrias presentes en su municipio.

Igualmente, de acuerdo con (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2025) basados en información suministrada por el municipio, este ha venido realizado la implementación del Plan territorial de Educación Ambiental, específicamente en el programa de fortalecimiento de la educación ambiental por medio de un proyecto con actividades de inclusión social en el aprovechamiento de residuos útiles del proceso del cuero terminado en el municipio de Villapinzón.

La propuesta de gestión de la contaminación del Río Bogotá en el municipio de Villapinzón en el sector de curtiembres debe estar encaminada en los siguientes aspectos:

- Una correcta identificación de la totalidad de las empresas dedicadas a la actividad curtidora que se encuentran en el municipio, ya que se ha identificado en los

diferentes documentos analizados la discrepancia que diferentes entidades tienen en torno al número de empresas.

- Es necesario generar una línea base de cada empresa donde se identifiquen sus cadenas de suministros, el uso de diferentes elementos para sus actividades, el talento humano que hace parte de ellas, sus métodos de producción, sus cadenas de distribución y su impacto en el municipio.
- La puesta en marcha con el apoyo de las entidades gubernamentales del nivel local, regional y naciones de diferentes pilotos de descontaminación de residuos generados, pilotos que sean económicos, viables y sostenibles ambientalmente, para posteriormente la puesta en marcha de estos procesos de descontaminación sobre el Río Bogotá.
- Es urgente y necesario la construcción y puesta en marcha de la PTAR del municipio de Villapinzón, así como el monitoreo y seguimiento de los acuerdos y compromisos que las empresas curtidoras han realizado en torno a los procesos de tratamientos de sus aguas residuales.
- Generación de acuerdos que desde la gobernanza del agua se tengan entre los sectores públicos, privados y comunidad en general con el fin de iniciar procesos de recuperación y restauración del Río Bogotá.
- La educación ambiental debe ser un pilar fundamental en torno al conocimiento de los recursos naturales, por esto se propone que en municipio y mediante los diferentes PRAES y procedas se involucre a la comunidad educativa y en general en torno al conocimiento de la problemática ambiental, los medios de articulación

y las diferentes posibilidades de recuperación, una comunidad con conocimiento es una comunidad empoderada de sus recursos.

- La industria de las curtiembres debe iniciar su proceso de transición hacia las estrategias de producción más limpia y en este caso las entidades locales, regionales y nacionales debe iniciar o continuar los procesos de apoyo económico, técnico, de capacitación que la industria necesita y solicite. Es importante la reactivación del Centro tecnológico del cuero pilar fundamental para lograr esta transición.
- Las actividades de monitoreo y seguimiento ambiental a la industria curtidora deber continuar de una manera constante, así como los monitoreos al estado ambiental del Río Bogotá.
- La articulación entre entidades debe ser primordial, se propone que el Consejo Estratégico de la Cuenca del Río Bogotá, creado mediante la sentencia del Río Bogotá y quien es el responsable de la articulación institucional tenga un grupo específico de las entidades inscritas en el dedicado primordialmente a la articulación, seguimiento, monitoreo y manejo de la problemática de la cuenca alta del Río Bogotá específicamente al sector de las curtiembres, grupo que debe estar cohesionado con la comunidad y la empresa privada con el fin de lograr acuerdos y puesta en marcha de proyectos enfocados a la descontaminación y recuperación del Río Bogotá en la cuenca alta, así se disminuye la presión mediática que se tiene sobre el sector de las curtiembres.

Conclusiones

Las campañas de muestreo realizadas sobre el río Bogotá en el municipio de Villapinzón evidencian la relación existente entre la calidad del agua y la presencia de actividades antrópicas, particularmente la industria de curtiembres, la cual constituye un eje fundamental en la dinámica económica y productiva del municipio. La distribución de los puntos de monitoreo en zonas antes, dentro y después del casco urbano permitió identificar patrones espaciales que sugieren una posible incidencia de esta actividad sobre el recurso hídrico.

Si bien los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, esto no implica la ausencia de impacto, dado que factores como la variabilidad temporal de los vertimientos, la eficiencia de los sistemas de tratamiento y los procesos fisicoquímicos del agua pueden influir en la detección de contaminantes. En este sentido, se resalta la importancia de mantener y fortalecer el monitoreo ambiental, incorporando análisis complementarios que permitan evaluar de manera más integral la influencia de la actividad curtiembre, con el fin de garantizar un equilibrio entre el desarrollo económico local y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Si bien los resultados obtenidos cumplen con los límites establecidos por la normativa vigente, es necesario complementar el análisis mediante la inclusión de otros parámetros bioquímicos, tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el oxígeno disuelto, así como la evaluación de metales en sedimentos. Adicionalmente, se resalta la importancia de implementar un monitoreo continuo en el tiempo, con el fin de obtener una valoración más integral de la influencia de los vertimientos sobre la dinámica hidráulica, el comportamiento y la calidad ambiental del río.

En cuanto a las medidas de recuperación de la contaminación del río Bogotá, es importante señalar que se han identificado diversas estrategias, tales como la implementación de procesos de biorremediación, el mantenimiento y optimización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y la adopción de prácticas de producción más limpia. No obstante, es necesario destacar que muchos de estos métodos aún se encuentran en etapas experimentales o han sido evaluados principalmente en condiciones de laboratorio, lo que limita su aplicación a escala real. Adicionalmente, algunos de estos procesos implican costos elevados de implementación, operación y mantenimiento, lo cual representa una barrera significativa para las empresas del sector curtiembre, especialmente para aquellas de menor capacidad económica. En este contexto, resulta fundamental promover soluciones técnicamente viables y económicamente accesibles que permitan avanzar en la reducción de la carga contaminante sin comprometer la sostenibilidad del sector productivo.

El análisis económico desde la perspectiva de la Responsabilidad Social Empresarial evidencia que la adopción de prácticas de prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos no solo cumple con las obligaciones legales, sino que constituye una inversión estratégica para las curtiembres. La implementación de tecnologías limpias, planes de manejo ambiental y programas de educación ambiental puede reducir pagos por tasas retributivas, mejorar el acceso a mercados con estándares ambientales más exigentes y fortalecer la legitimidad social del sector.

Si bien el objetivo de este trabajo no es solo el análisis de la presencia o no de los metales pesados los cuales no fueron encontrados, sino una propuesta de gestión de la contaminación; en donde proponemos que esta problemática debe ser abordada de una manera conjunta entre las entidades de orden local, regional y nacional con los actores privados y la población del municipio.

La puesta en marcha de las diferentes propuestas de gestión en torno a la contaminación debe estar siempre articulada entre los sectores gubernamentales, el sector privado, la academia, la población del municipio con el fin de llegar a acuerdos en el que todas las partes se vean beneficiadas.

Una mayor generación de conciencia a la población en torno problemática en el río siempre genera una acción positiva y la forma de generar esa conciencia es un mayor esfuerzo en que la educación ambiental llegue a toda la población del municipio, mediante una mayor presencia y actuar por parte de las entidades relacionada con la generación de conciencia municipal.

Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Aproximación a las implicaciones del fallo del consejo de estado sobre el Río Bogotá.*

Beltrán García, G. A. (2005). *Diagnóstico ambiental e inventario del recurso hídrico de la cuenca del río Tejar en el municipio de Chocontá*

Beltrán Pineda, M. E., & Gómez Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) Mecanismos bioquímicos e ingeniería Genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12 (2), 172–197.

Bhardwaj, A., Kumar, S., & Singh, D. (2023). Tannery effluent treatment and its environmental impact: A review of current practices and emerging technologies. *Water Quality Research Journal*, 58(2), 128–152. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2023.002>

Borda-Prada, O. L. (2015). Evaluación y reducción de los niveles de cromo en muestras de aguas residuales provenientes de curtiembres. Universidad La Gran Colombia.

Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.

Campos Segura, Ricardo (2010) "Contaminación en la cuenca alta del río Bogotá: diagnóstico y ensayo"

Camacho Angel, J. P., & Robles Cruz, L. F. (2009). *Diagnóstico ambiental de la contaminación del suelo en el municipio de Chocontá y prueba piloto con dos de los contaminantes más representativos bioacumulados en arveja, haba y pasto ray grass.*
<https://ciencia.lasalle.edu.co/>

Campos Segura, R. (2010). *Contaminación en la cuenca alta del Río Bogotá: diagnóstico y ensayo.* <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep>

- Carreazo Vásquez, D., Pérez, L. G., Preciado, J. C., & Beltrán, J. S. (2017). Efectos en la salud asociados a la exposición ambiental y ocupacional a productos químicos generados en la industria del curtido en la población del barrio San Benito y su área de influencia durante el 2017. *Trabajo de investigación en la Línea de Salud Pública. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA*.
- Chamon, A. S., Romana, S., Zubaer, M. R., Prian, W. Z., Hossain, M. A., & Mondol, M. N. (2023). Dhaleshwari River water quality due to disposal of tannery wastes at Savar, Dhaka, Bangladesh. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research Studies*, 3(4), 382–389.
- Congreso de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015*. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Consejo de Estado. (2014). *Sentencia del Río Bogotá (Exp. 25000-23-27-000-2001-0479-01)*. Bogotá: Consejo de Estado, Sección Primera.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2024). *Informe técnico sobre el estado de la cuenca alta del Río Bogotá*. Bogotá: CAR.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2020). *ERA CUENCA ALTA RÍO BOGOTÁ*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/6477cd69c810a.pdf>
- Cubillos Arévalo, D. C., & Delgado Perdigon, J. T. (2016). *Incidencia de la contaminación de la cuenca alta del Río Bogotá en la simetría de las frústulas de las diatomeas presentes en el sustrato rocoso*. Universidad Santo Tomás.
- Cuberos, E., Rodríguez, A. I., & Prieto, E. (2009). Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de salud pública*, 11, 278-289.

- Decreto 2811 de 1974. (1974). *Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Diario Oficial 34.243, 18 de diciembre de 1974
- Decreto 3100 de 2003. (2003). *Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por vertimientos puntuales al recurso hídrico*. Diario Oficial 45.358, 30 de octubre de 2003.
- Decreto 3930 de 2010. (2010). *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979 y se dictan otras disposiciones sobre vertimientos*. Diario Oficial 47.804, 25 de octubre de 2010.
- Decreto 1076 de 2015. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial 49.523, 26 de mayo de 2015.
- Díaz Gil, Y. A. (2020). *Gestión y gobernanza del agua en la cuenca del Río Bogotá*. <http://hdl.handle.net/11634/44521>
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA). (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano: Informe de síntesis*. Washington, D.C.: Island Press
- García Juárez, H. D., Armas Juárez, R. A., Mendoza Zuta, J. C., & Cruz Salinas, L. E. (2022). Tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de curtido de pieles. *Revista Alfa*, 6(18), 423–435.
- Gobernación de Cundinamarca, & Universidad de la Salle. (2016). *Estrategias de Producción más limpia en la cuenca alta del Río Bogotá*.
- Gutiérrez Saad, J. N. (2019). *Tendencia en la investigación sobre los metales pesados (Cd, Cr, As, Hg, Pb, Zn) y su afectación en el Río Bogotá*.
- Mahecha-Pulido, J. D., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2017). *Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia*. *Orinoquia*, 21, 83-93.

- Ministerio de Ambiente, V. y D. Territorial. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Gobernanza del agua*.
<https://Archivo.Minambiente.Gov.Co/Index.Php/Gestion-Integral-Del-Recurso-Hidrico/Gobernanza-Del-Agua>.
<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/gobernanza-del-agua>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025). *Solicitud información enviada por el municipio de Villapinzón al CECH*.
- Ministerio de Salud y Protección Social Dirección de Promoción y Prevención Subdirección de Salud Ambiental (2015). *Guía para el desarrollo de actividades de promoción y prevención en la industria de curtiembres*.
- Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). (2015). *Guía técnica para el manejo seguro de sustancias químicas en curtiembres*. Bogotá: MinSalud.
- Municipio de Villapinzón. (2025). *Respuesta al Radicado No. 2025E1042657*.
- Observatorio Colombiano Gobernanza del Agua - OCGA, & Minambiente. (n.d.). *Sentencia Río Bogotá*. [Http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Ocga/Sentencia](http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Ocga/Sentencia). Retrieved June 21, 2023, from <http://www.ideam.gov.co/web/ocga/sentencia>
- Ordoñez Burbano, D. E., & Benítez-Campo, N. (2019). Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembres mediante un proceso biótico-abiótico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4). <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.13>
- Pasquero, J. (2005). *Corporate citizenship: A research perspective*. *Journal of Business Ethics*, 59(3), 393-408.

Pinzón Uribe, L. F. (2019). *Metales pesados en los lodos de la cuenca alta del Río Bogotá, entre Villapinzón y Chocontá*. *Revista ambiental Agua, Aire y Suelo*, 10(2), 1-8.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*. Nairobi: PNUMA.

Quintero Castrillón, D. H., & Wilson Martínez, J. C. (2010). *Prediagnóstico toxicológico de la cuenca alta del Río Bogotá*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/663

Restrepo, C. S., & Lozano, F. H. (2023). *Limitantes institucionales y socioeconómicas en la reconversión tecnológica de la pequeña industria curtidora en Cundinamarca*. *Gestión y Ambiente*, 26(1), 104-119

Ruiz, P. A. (1999). *Diagnóstico y recomendaciones de proyectos arquitectónicos, urbanísticos y paisajísticos en la Cuenca Alta del Río Bogotá*. Recuperado de:
<https://hdl.handle.net/20.500.14625/16042>

Sánchez Suárez, N. M. (2021). *Formulación de estrategias de mitigación del riesgo y adaptación al cambio climático a partir de información técnica generada durante los últimos diez años en la cuenca media del Río Bogotá*.

Santamaría Zárate, Y. L., Angulo De Castro, I., & Ordoñez Díaz, M. M. (2021). Análisis multitemporal y estadístico de parámetros fisicoquímicos monitoreados en la cuenca alta del Río Bogotá. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021002>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2017). *Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá*.

https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=2891

Silva, L. J. G., Casimiro, M. J. G., Pena, A., Campos, M. J., & Pereira, A. M. P. T. (2025). Assessment of chromium contamination in aquatic environments near tannery industries: A Portuguese case study. *Toxics*, 13(12), 1068. <https://doi.org/10.3390/toxics13121068>

Suárez Escobar, A. F., García Ubaque, C. A., & Vaca Bohórques, M. L. (2012). Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. *Revista Tecnura*, 16, 185–184. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6823/8407>

Universidad Nacional de Colombia. (2022). *Diagnóstico multidimensional de los pasivos ambientales y salud comunitaria en la cuenca alta del río Bogotá*. Instituto de Salud Pública.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Introduction to Bioaccumulation and Biomagnification*. U.S. EPA, Office of Water. <https://www.epa.gov>

Uribe, L. F. P. (2019). *Metales pesados en los lodos de la cuenca alta del río Bogotá, entre Villapinzón y Chocontá*. *Revista ambiental Agua, Aire y Suelo*, 10(2), 1-8. <https://ojs.unipamplona.edu.co/aaas/article/view/387>

World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). Geneva: WHO Press.

Zabaleta Berrio, M. A., & Cárdenas Frias, G. A. (2019). Afectación ambiental asociado a los residuos de las curtiembres y su implicancia en la salud humana. . In *Documentos de Trabajo Areandina* (1). <https://revia.areandina.edu.co/index.php/DT/article/view/2065>

Apéndice

ANEXO 1. Informe de laboratorio Campaña 1

ANEXO 2. Informe de laboratorio campaña 2

ANEXO 3. Información Entregada por la CAR Cundinamarca

ANEXO 4. Respuesta MinAmbiente

ANEXO 5. Respuesta de Alcaldía Villapinzón