

Gestión sostenible del recurso hídrico: estudio de caso sobre la contaminación por cromo del río Tunjuelo, Bogotá D.C, Colombia¹

Olga Lucia Borda Prada², Ariel Fabricio Guerrero Rodríguez³

Facultad de Ingenierías, Universidad La Gran Colombia.

Resumen

Se presenta aquí un documento relacionado con la gestión sostenible del recurso hídrico, la cual se relaciona con el aprovechamiento, control de calidad y suministro de agua segura a las comunidades. En este sentido, se describen algunos aspectos del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 6 y se presenta una descripción sobre los avances de esta gestión en Colombia. Seguidamente, se presenta un estudio de caso sobre la reducción de niveles de cromo en el río Tunjuelo con el que se logra impactar de manera importante el ODS mencionado.

Palabras clave: sostenibilidad, gestión del recurso hídrico, cromo.

¹ Documento creado en marco del proyecto de investigación JCG2020-ING-01 “Caracterización de los niveles de trihalometanos en muestras de agua potable, provenientes de la planta regional ubicada en el municipio de Cogua”.

² Licenciada en Química, especialista en Pedagogía y Docencia Universitaria y magíster en Docencia de la Química. Docente adscrita a la Facultad de Ingenierías, Universidad La Gran Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: olga.borda@ugc.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2912-3269>

³ Ingeniero de Sistemas, especialista en Redes de Velocidad y magíster en Educación. Docente adscrito a la Facultad de Ingenierías, Universidad La Gran Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: ariel.guerrero@ugc.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5649-3014>

I. Introducción

La gestión del recurso hídrico se relaciona con el control de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con miras al suministro seguro del agua, asimismo, con el aprovechamiento de este importante recurso sin comprometer la sostenibilidad de las comunidades.

En este sentido, se presenta una problemática asociada a la contaminación por cromo, el cual es una sustancia peligrosa que se transporta en el agua y que puede ser absorbido por los vegetales, de modo que su ingreso en los organismos vivos, no solo a nivel local sino regional, ocurre principalmente a través del recurso hídrico y de los alimentos. Este metal al ingresar a los organismos ya sea por ingestión, contacto o inhalación, genera efectos muy nocivos de orden genético, mutagénico y carcinógeno (Instituto Nacional de Salud, 2020). De esta parte, los altos niveles de cromo en los efluentes hídricos y aguas residuales generan patologías importantes en los materiales de construcción. Según la normativa legal vigente, el límite máximo permisible de cromo es de 0,05 ppm de en los residuos líquidos cuando la destinación del recurso es para consumo humano y doméstico, y 0,1 ppm de cromo en los residuos líquidos como valor admisible para la destinación del recurso para uso agrícola y pecuario.

En el río Tunjuelito, se presentan varios vertimientos de cromo, provenientes principalmente de las curtiembres de cuero ubicados en el barrio San Benito, Bogotá, y según los antecedentes consultados, solo el 3% de estas empresas cuentan con planta de tratamiento de agua residual. Sin embargo, los procedimientos de estas plantas no son selectivos para el control de este peligroso metal.

En las aguas residuales de curtiembres existen las dos formas del cromo ya sea que se originen en sus respectivos compuestos o porque en el agua y en los organismos el cromo puede cambiar de su forma trivalente a su forma hexavalente y viceversa. En este contexto, se requiere de un procedimiento que favorezca la remoción de las dos formas de cromo, por lo que, en una investigación desarrollada

en el marco de línea de investigación de hidráulica de la Facultad de Ingenierías se adecuó un procedimiento analítico para la pre- reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente, basado en el uso de residuos orgánicos y de cal comercial.

La problemática mencionada impacta el ámbito social y ambiental debido a que se relaciona con la gestión del recurso hídrico, esto, enmarcado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3, 6 y 11, que se asocian al impacto de la calidad del agua sobre las personas y sobre el bienestar.

II. Agua limpia y saneamiento básico – ODS 6

A nivel local y nacional se han desarrollado diversas prácticas que han favorecido el acceso al agua potable y asimismo se han adecuado prácticas de saneamiento que impactan de manera positiva a las comunidades. La actual emergencia sanitaria ha exigido la implementación de técnicas de higiene tendientes a contener el COVID-19, por lo cual se ha hecho aún más emergente contar con agua limpia.

En este contexto, para lograr el suministro de agua segura, se requiere de una adecuada gestión del recurso hídrico, con el fin de actuar previsoramente frente al aprovechamiento y control de calidad físico, químico y microbiológico de las fuentes de agua, ya sean superficiales, subterráneas, atmosféricas etc.

Sin embargo, según Naciones Unidas (2021), aún persisten ciertas situaciones en torno a la falta de gestión mencionada, en la figura 1 se muestran algunos datos, dentro de los cuales se encuentra el vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua.



Figura 1. Algunas problemáticas en torno al agua limpia y saneamiento.

Fuente: Naciones Unidas (2021).

En este sentido, resulta urgente continuar con la puesta en marcha de estrategias que permitan superar las problemáticas mencionadas, teniendo en cuenta que, a nivel global, para el 2030 se ha previsto el cumplimiento de ciertas metas, fundamentales para la seguridad de las comunidades contemporáneas y futuras. A continuación, se mencionan en la figura 2.

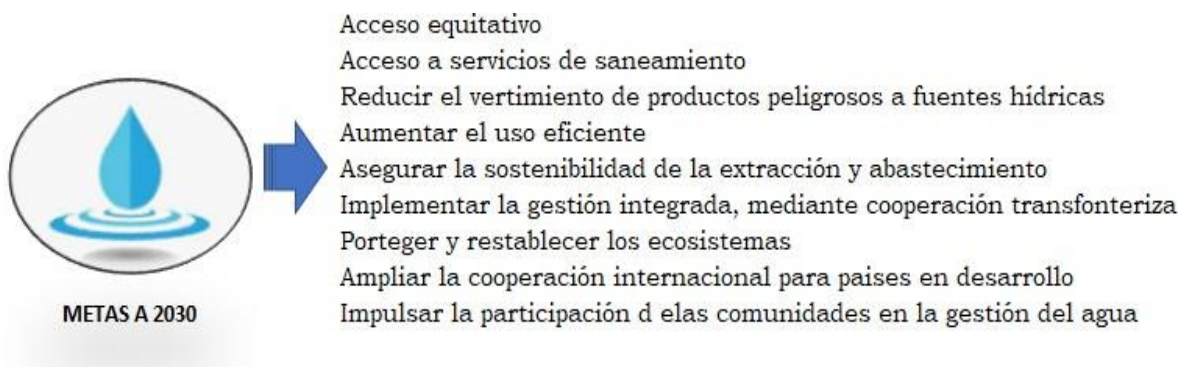


Figura 2. Metas a 2030.

Fuente: Naciones Unidas (2021).

Según Hernández y Posada (2018), la gestión del recurso hídrico en Colombia ha avanzado conforme se han ido estructurando grupos, líneas y sublíneas de investigación anivel local, regional y nacional. De manera general, puede afirmarse que los avances en torno a esta gestión se encuentran adheridos a las normativas vigentes y a las políticas gubernamentales. Según los grupos de investigación clasificados en Colciencias a 2017, las investigaciones relacionadas con el recurso hídrico han sido en torno a líneas tales como: la biodiversidad y servicios ecosistémicos, los impactos tratamiento y calidad, a los procesos y tecnologías, a la gestión del riesgo y saneamiento y a la gestión ambiental, en la siguiente tabla, se presentan algunos temas de las líneas mencionadas.

Tabla 1. Algunos temas de investigación en torno al recurso hídrico.

TEMA	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
Biodiversidad y sistemática.	Biodiversidad y servicios ecosistémicos
Monitoreo, manejo y conservación de recursos naturales	
Usos biodiversidad marina e impacto sobre los ecosistemas.	
Dinámica de ecosistemas acuáticos	
Aprovechamiento y conservación de recursos naturales.	Impactos, tratamiento y calidad
Evaluación niveles de traza de contaminantes	
Técnicas de análisis químico	
Calidad del agua en corrientes hídricas.	
Tratamiento aguas	Procesos y tratamiento
Tecnologías tratamiento y recuperación de agua y aire	
Hidrología y meteorología	
Ingeniería hidráulica	Gestión del riesgo y saneamiento
Gestión del riesgo por desastres naturales o antrópicos	
Saneamiento básico y gestión ambiental	
Agua, saneamiento ambiental preservación de las fuentes hídricas.	
Planificación y gestión de recursos hídricos	Gestión ambiental
Políticas públicas y geopolítica	
Gestión y aprovechamiento de recursos hídricos.	

Fuente: Hernández y Posada (2018).

En este contexto, se presenta un tema de investigación de la línea “gestión del riesgo y saneamiento”, relacionado con el ODS 6 principalmente.

III. Problemática de río Tunjuelo asociada a la contaminación por cromo

El cromo es una sustancia peligrosa que se transporta en el agua y que puede ser absorbido por los vegetales, de modo que su ingreso en los organismos vivos, no solo a nivel local sino regional, ocurre principalmente a través del recurso hídrico y de los alimentos. Esta sustancia al ingresar a los organismos ya sea por ingestión, contacto o inhalación, genera efectos muy nocivos de orden genético, mutagénico y carcinógeno. De esta manera, los altos niveles de cromo en las aguas residuales generadas en curtiembres que implementan procedimientos de curtido al cromo representan una amenaza para los organismos vivos.

El Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura establece como límite máximo permisible una concentración de 0,05 ppm de cromo en los residuos líquidos cuando la destinación del recurso es para consumo humano y doméstico, y 0,1 ppm de cromo en los residuos líquidos como valor admisible para la destinación del recurso para uso agrícola y pecuario. Asimismo, la resolución Ras establece de este metal pesado, un nivel máximo de 2 ppm.

Resulta preocupante el amplio uso del cromo en procesos industriales, como los que se llevan a cabo en la industria textil, caso particular los procedimientos de curtido. Los altos niveles de cromo generados en curtiembres que implementan este proceso al cromo han motivado el planteamiento de propuestas orientadas a reducir los niveles de contaminación causada por esta sustancia. De las propuestas identificadas, unas se basan en la fitorremediación y otras en el tratamiento con sustancias químicas. Las propuestas basadas en la fitorremediación presentan como inconveniente que para reducir los niveles de cromo de manera continua se requiere mantener cultivos de plantas en todas las épocas del año, lo cual es difícil de lograr, sobre todo si se toma en cuenta la inestabilidad climática. Por otra parte, las propuestas identificadas que se basan en el tratamiento con sustancias químicas conllevan altos costos económicos y efectos negativos para la salud y el ambiente, sobre todo cuando implique el tratamiento de aguas contaminadas de manera

continua y a gran escala. Se requiere entonces de un procedimiento adecuado para reducirlos niveles de cromo en aguas contaminadas con esta sustancia, esto es, un procedimiento fácil de implementar en cualquier época del año, económico y eficiente que permita reducirlos niveles de cromo para evitar su dispersión a través del recurso hídrico.

A pesar del número de vertimientos sobre el río Tunjuelito (Ortiz y Carmona, 2015), provenientes de las curtiembres de cuero ubicados en el barrio San Benito, Bogotá, no se ha identificado una propuesta que permita establecer un procedimiento adecuado (así como se describió anteriormente) para reducir los niveles de cromo en las aguas residuales allí generadas.

De acuerdo con los antecedentes consultados, unos trabajos se orientan a la remoción del cromo hexavalente y otros a la remoción del cromo trivalente (EPA, 2010). No obstante, en las aguas residuales de curtiembres existen las dos formas del cromo ya sea que se originen en sus respectivos compuestos o porque en el agua y en los organismos el cromo puede cambiar de su forma trivalente a su forma hexavalente y viceversa. Se requiere entonces de un procedimiento que favorezca la remoción de las dos formas de cromo, por lo que se plantea la adecuación de una técnica que implique la pre-reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente con cáscara de naranja, seguido de la precipitación del cromo trivalente con cal comercial.

Las enfermedades de transmisión hídrica representan una problemática que afecta de directa de los problemas que afecta negativamente a la humanidad y genera especial interés porque causa graves trastornos ambientales y daños para la salud (Instituto Nacional de Salud, 2015) no solo locales, sino también regionales y globales. En este contexto surge la necesidad de plantear propuestas que aporten a la reducción del nivel de contaminantes localmente, controlando a la vez su dispersión para evitar que afecten la vida de las diversas especies.

Así, a continuación, se describe una propuesta desarrollada en torno a la reducción de La propuesta de investigación que se presenta en este documento está orientada a establecer un procedimiento adecuado para la reducción de los niveles de cromo

en muestras de aguas residuales tomadas en puntos de descarga sobre el río Tunjuelito. Básicamente consiste en la reducción de los niveles de cromo de aguas residuales mediante precipitación con cal, previa reducción (pre-reducción) del cromo hexavalente a cromo trivalente haciendo uso de la cáscara de naranja, lo cual puede constituirse en un procedimiento adecuado en la medida que sea fácil de implementar, eficiente y de bajo costo, dado que las propuestas consultadas (Moral, 2010; Lancheros y Vera, 2011; Gil, 1997; Pianeta y Saavedra, 2001; Céspedes *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, s.f.) no ofrecen simultáneamente estas ventajas.

La pre-reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente es necesaria teniendo en cuenta que las formas iónicas del cromo pueden cambiar (EPA, 2010), así, por ejemplo, los tipos de cromo (6+) y de cromo (3+) se convierten entre sí en el agua y en el organismo humano dependiendo de las condiciones ambientales, por lo que medir solo una forma de cromo no tomaría en cuenta todo el cromo presente potencialmente nocivo para la salud. Así, en la adecuación del procedimiento propuesto en este documento, se plantea la necesidad de hacer uso de agentes reductores económicos como los contenidos en la cáscara de naranja para reducir el cromo hexavalente a cromo trivalente, seguido de la precipitación con cal comercial.

IV. Materiales y métodos

En el marco de la problemática descrita en este documento se evalúa los niveles de residuos de cromo antes y después de adecuar e implementar un procedimiento de reducción de niveles de este metal. A continuación, se describen las fases desarrolladas:

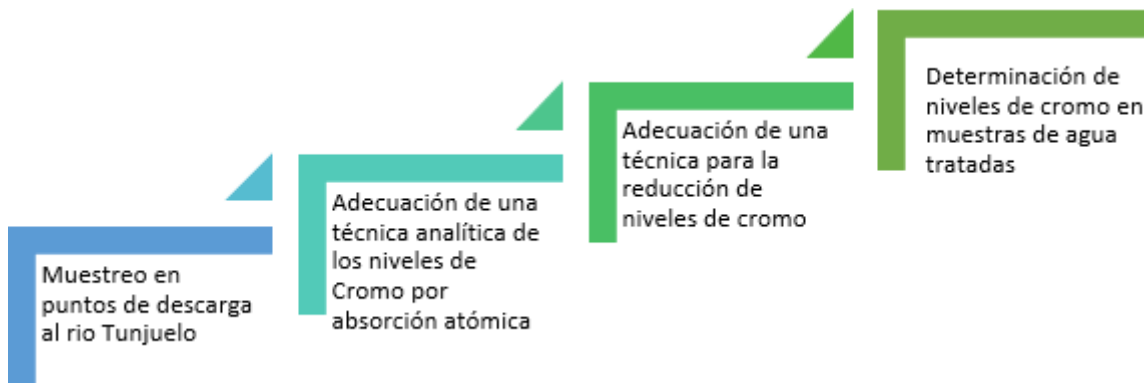


Figura 3. Fases de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

V. Resultados

Niveles preliminares de cromo según las recomendaciones descritas en el método 3111B —Método directo de llama aire-acetileno— de la APHA, AWWA, WPCF, mediante la curva de calibración, presentada a continuación y teniendo en cuenta el límite de cuantificación se calculó en la muestra 854 ppm de cromo.

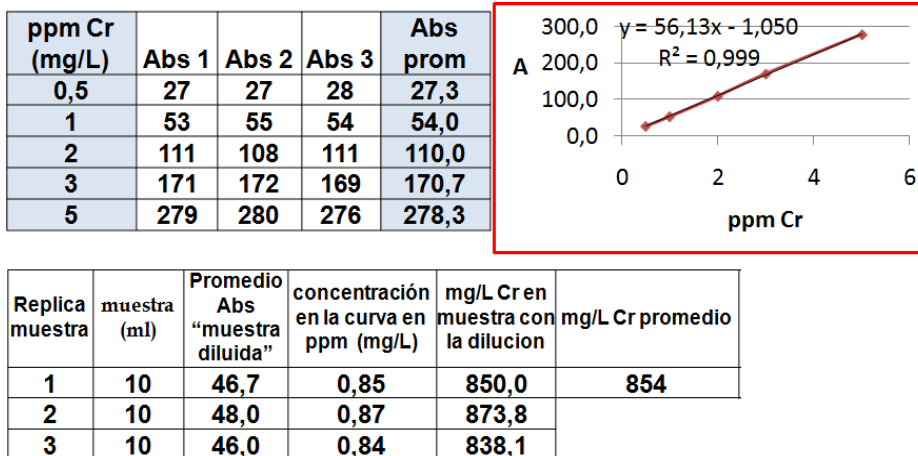


Figura 4. Niveles de cromo en muestras de agua sin tratar.

Fuente: elaboración propia.

Los niveles de cromo encontrados sugieren implicaciones importantes sobre la salud pública y el contexto ingenieril, teniendo en cuenta que el límite en el efluente

no debería superar las 2ppm. De esta manera, es importante adecuar un procedimiento que favorezca la reducción de estos niveles y por tanto los impactos negativos que tiene sobre el factor agua limpia y saneamiento.

- **Adecuación de una técnica analítica para la reducción de niveles de cromo en muestras de agua residuales**

Son dos formas de cromo las que existen en las muestras de aguas residuales, Cr +6 y Cr+3, de las cuales, la primera es caracterizada cancerígena (E. Cuberos, A. Rodríguez, y E,2009). Ambas generan corrosión en los materiales de construcción. Se realizaron ensayos basados en la adición de cascara de naranja y cal comercial. A partir de la adición de masas conocidas de la cascara pudieron calcularse niveles de cromo más bajos con respecto a los presentados en el diagrama 4, esto debido, a que, según ensayos realizados, este residuo orgánico, estaría favoreciendo la reducción de Cr +6 a Cr +3.

Por otro lado, y según los antecedentes consultados la cal comercial es un precipitante del Cr +3. Las empresas de curtiembre en el proceso de curtido hacen uso del $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ para la conversión de la piel en cuero. En esta estructura el cromo es trivalente, así que su precipitación se logró realizando ensayos de adición de diferentes cantidades de cal a alícuotas de 10ml de muestra. En la siguiente figura 5, se presentan las variaciones de cromo por adición simultánea de la cascara de naranja y cal comercial.



replica	cascara de naranja	Promedio Abs "muestra diluida"	concentracion en la curva en ppm (mg/L)	mg/L Cr en cada muestra con la dilucion	mg/LCr promedio En muestra
1	0,6149	82,3	1,51	10,2	10,9
2	0,6046	98,7	1,81	11,8	
3	0,6039	91,0	1,67	10,8	
4		147,3	2,69	34,8	36,1
5		157,0	2,87	37,3	
6		154,0	2,82	36,3	

Figura 5. Niveles de cromo obtenidos por adición de cascara de naranja y cal comercial.

Fuente: elaboración propia.

VI. Comentarios finales

- La gestión de recurso hídrico incluye el aprovechamiento y la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, sin comprometer el bienestar de las comunidades.
- Es necesario continuar con el estudio de problemáticas al interior de líneas de investigación que se relacionen con el recurso hídrico, en cooperación con entes gubernamentales, con el fin de impactar en mayor medida el ámbito regional y nacional.
- La preservación de los efluentes hídricos representa un campo de estudio multidisciplinar, que influye de manera significativa en la sostenibilidad de las generaciones futuras.
- Con base en los resultados encontrados, es factible iniciar la fase de implementación de la técnica analítica en plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que a gran escala permitiría mitigar el riesgo asociado al vertimiento de cromo sobre el río Tunjuelo.

Bibliografía

- APH AWW WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.16 Ed. Washington, E.U.A.
- Cromo (VI) en el agua potable. Oficina de agua de EPA. 2010.
- Ministerio de Agricultura De Colombia. Decreto 1594. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial No. 36.700. 26 de junio de 1984.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18617>
- E. Cuberos, A. Rodríguez y E. Prieto, “Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de curtiembres en Bogotá, Colombia”. *Revista Salud Pública*, vol. 11, no. 2, pp. 278-289, 2009.
- S. M. Hernández Pasichana y A. Posada Arrubla. Avances de la investigación sobre la gestión integral del recurso hídrico en Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* vol. 21, no. 2 (2018), pp. 553-563.
<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1079>
- Instituto Nacional de Salud INS. Enfermedades vehiculizadas por agua EVA e índice de riesgo de la calidad IRCA en Colombia, 2014. Bogotá: INS; 2015.
- Naciones Unidas (2021). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de:
<https://bit.ly/3xZZTZd>
- N. E. Ortiz y J. C. Carmona. Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Luna Azul*, no. 40, p. 117–126, 2015. DOI:
<https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.9>
- O. Pianeta, y J. Saavedra, “Tesis Estudios de adsorción de cromo, níquel y zinc en solución sobre vermiculita”. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2001.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000:
Titulo B, Sistemas de acueducto. Bogotá D.C: Ministerio de ambiente, vivienda
y desarrollo económico, 2000.