

Impacto ambiental de las curtiembres, una problemática de vieja data sobre el río Bogotá

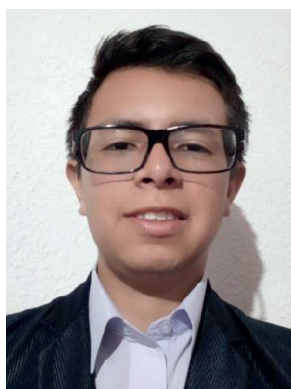
Environmental Impact of the Tanneries, an Old Data
Problem on the Bogotá River

“
Palabras clave:
Agua, Curtiembres, Remediación,
Impacto ambiental.
”

Diego Andrés Castiblanco Ramírez¹

Daniel Llamosa Perez²

Rolando Javier Rincón Ortiz³



¹ Estudiante de octavo semestre del pregrado en Bioquímica de la Universidad Antonio Nariño, con un marcado interés en la remediación ambiental con un enfoque nanotecnológico.

dcastiblanco49@uan.edu.co,

² Ingeniero Físico. Tiene una maestría y un doctorado en materiales avanzados y nanotecnologías de la Universidad Autónoma de Madrid. Profesor investigador de la Universidad Antonio Nariño. Dentro de sus trabajos se encuentran el desarrollo de un sistema de bioimpedancia eléctrica, síntesis y caracterización de materiales multiférricos, así como la ingeniería de nanomateriales. Además, sus áreas de interés son la biofísica y la ciencia de materiales. Grupo de Investigación Fundamental y Aplicada en Materiales GIFAM, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia

³ Químico y profesor investigador de la Universidad Antonio Nariño. Sus trabajos más recientes han estado dirigidos a la epidemiología de aguas residuales, la remediación ambiental y al desarrollo de nuevos materiales con valor agregado. Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas y Químicas GIBIQs, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia

Resumen

El agua es un recurso vital para la mayor parte de seres vivos en el planeta, su empleo cotidiano abarca las diferentes actividades antropomórficas y es empleada como medio de reacción y/o materia prima en diversos procesos industriales y agropecuarios. Una de las actividades industriales más representativas en la economía colombiana es el sector del curtido de pieles, con una participación del 2,17% en el PIB manufacturero, agrupados en su mayoría en PYMES por medio de la exportación del cuero tipo wet-blue generando ingresos de 70 millones de dólares al año. Sin embargo, una explotación indebida de la actividad, así como prácticas manufactureras poco conscientes del impacto ambiental, tiene consecuencias sobre cuerpos de agua en la cuenca alta y media del río Bogotá, de vital importancia ambiental y cultural. El presente artículo pretende dar un panorama del proceso, su impacto ambiental, así como sobre algunas de las alternativas para su remediación presente y futura.

Summary

Water is a vital resource for most living beings on the planet, its daily use encompasses different anthropomorphic activities, as well as being used as a means of reaction and/or raw material in various industrial and agricultural processes. One of the most representative industrial activities in the Colombian economy is the fur tanning sector, with a 2.17% share of manufacturing GDP, grouped mostly in SMEs through the export of wet-blue leather generating revenues of \$70 million per year. However, improper exploitation of the activity, as well as manufacturing practices that are not aware of the environmental impact, has consequences on bodies of water in the upper and middle basin of the Bogota River, of vital environmental and cultural importance. This article aims to provide an overview of the process, its environmental impact, as well as some of the alternatives for its present and future remediation.

Keywords:

Water, Tanneries, Treatment,
Environmental impact.

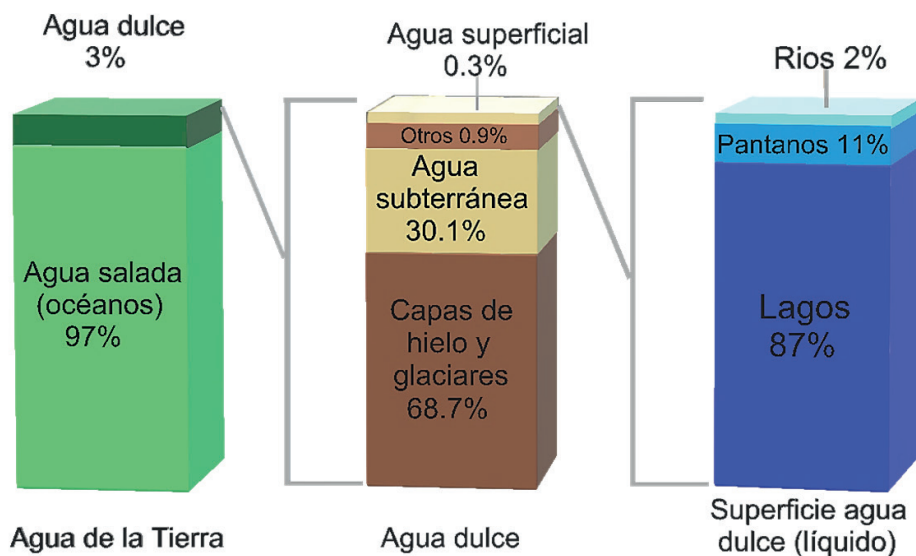
Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo, siendo un recurso vital para la supervivencia y el desarrollo de la mayor parte de formas de vida conocidas por el hombre. Su distribución en el planeta es extremadamente desigual, como muestra la Figura 1. De la totalidad de agua en la Tierra, el 97% es agua salada, en su mayoría en los océanos y sólo un 3% corresponde a agua dulce. Del agua dulce, aproximadamente el 69% se encuentra conformando los glaciares, cerca del 30%, cuerpos de agua

subterránea, y menos del 1% se encuentra en superficie, conformando lagos, ríos y pantanos, siendo ésta porción la que consumen los seres vivos terrestres y acuáticos continentales e insulares (Bralower & Bice, 2019). En consecuencia con la aceleración de la industria y crecimiento de la población mundial, el consumo de agua ha aumentado vertiginosamente, lo que en el mediano plazo nos llevará a un problema de escasez de éste preciado recurso, convirtiéndose en una limitación importante para el desarrollo y para la supervivencia de los organismos del planeta (Yang et al., 2019).

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo

Figura 1. Distribución del agua en la Tierra.



Fuente: adaptado y modificado de Bralower & Bice (2019).

Bogotá, capital de Colombia, donde las calles de su pasado colonial confluyen con la modernidad de sus grandes edificios de concreto, es un municipio 75% rural y 25% urbano; a través del cual se desarrolla la cuenca media de uno de los ríos más importantes para el país, el río Bogotá. Éste nace en el páramo de Guacheneque en la laguna del Mapa, a 3.300 msnm, en jurisdicción del municipio de Villapinzón al norte de Cundinamarca (Alcaldía de Bogotá, 2019; Sierra García, 2018). Con un cauce que recorre 380 kilómetros desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Magdalena (POMCA, 2016), su importancia radica en el desarrollo de actividades económicas que representan un 32% del total a nivel nacional, destacando la producción agrícola, pecuaria e industrial, además de su riqueza en biodiversidad, patrimonio natural y el incalculable valor sociocultural e histórico que tiene para los pobladores de la cuenca del río (CAR, 2018a).

El río Bogotá es reconocido como el segundo efluente más importante del país, el cual aporta el 31,7% del Producto Interno Bruto (PIB) (Archivo Semana, 2016; CAR, 2018). Pese a esto, a 11 km de su nacimiento, las aguas puras y cristalinas reciben la carga contaminada de los municipios de Villapinzón y Chocontá. A partir de aquí, el río sufre un golpe ambiental, transformando drásticamente su aspecto, siendo responsables los vertimientos residuales domésticos e industriales de estos dos municipios, pero principalmente del sector industrial, destacando la actividad del curtido de pieles en la que se emplean sustancias químicas para la producción de cuero de alta calidad, para la elaboración otros productos. Esto genera que la calidad de agua pase de un nivel de contaminación de tipo 1 (mínimo) a un tipo 3 (regular) basándose en los objetivos de calidad de agua que son dispuestos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) que van hasta un tipo 8 de contaminación (Barros,

Éste nace en el páramo de Guacheneque en la laguna del Mapa, a 3.300 msnm, en jurisdicción del municipio de Villapinzón al norte de Cundinamarca

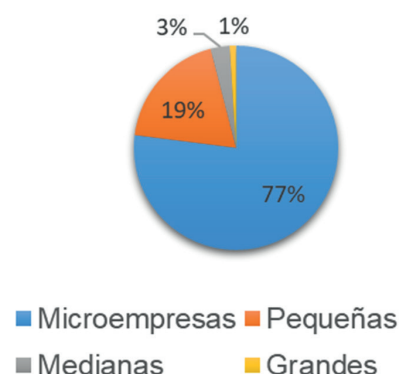
2020a; Barros, 2020b; Franco González, Clavijo Rios, Niño García, & Salazar Neira, 2017).

El río atraviesa otros 18 municipios que hacen parte de la cuenca alta, produciendo que el nivel de contaminación aumente de tipo 3 a 4, a causa del vertido doméstico y de actividades como la ganadería y la agricultura. Al llegar a la sabana bogotana, cesa la cuenca alta y pasa a ser la cuenca media del río Bogotá. Aquí el impacto ambiental es mucho más grave dado que pasa de un nivel de contaminación tipo 4 a tipo 8, nivel que se mantiene durante el resto del recorrido del río hasta su desembocadura en el río Magdalena. El nivel de contaminación se debe a las 690 toneladas diarias de vertimientos provenientes de efluentes como el río Salitre, Fucha y Tunjuelito que desembocan en el río Bogotá, un río que termina anóxico y sin vida, un río muerto (Barros, 2020;

CAR, 2018b). De los sectores industriales con mayor impacto en la calidad del agua en el río son las curtiembres, mismas que migraron de la cuenca alta al barrio San Benito, generando un impacto ambiental en la ronda del río Tunjuelito. La mayor parte de éstas empresas son microempresas, pequeñas y medianas (MIPYMES), como se indica en la Figura 2, con un alto porcentaje de informalidad y prácticas poco tecnificadas.

Figura 2. Porcentaje de empresas curtidoras en Colombia con base a su tamaño.

Curtiembres en Colombia según su tamaño



Fuente: adaptado y modificado de Ortiz Penagos (2013).

La industria del cuero es una de las actividades económicas más antiguas del país. Los comienzos de la industria del cuero en Colombia se ubican a mediados de los años 50, en los municipios de Villapinzón y Chocontá (considerados por Fenalcuero “la cuna del cuero”), pero a mediados de los años 60, la mayor parte de este sector productivo se vio desplazada hacia la ciudad de Bogotá, estableciéndose principalmente en el barrio San Benito de la localidad de Usme, en cercanías con el río Tunjuelito (Alcaldía de Bogotá, 2015; Vásquez Daza, 2012). Sin embargo, es un sector con un gran impacto ambiental debido a que sus procesos de producción generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos que impactan de forma negativa el ambiente y la salud de las personas.

Hasta 2013, en un informe proporcionado por la CAR, se tenía un total de 664 curtiembres en Colombia, de las cuales más del 50% estaba registrado en Bogotá, concentradas principalmente en la zona de San Benito, como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Curtiembres en Colombia.

Municipio	Nº Curtiembres	% de Participación
Bogotá	350	52,71
Cundinamarca	190	28,61
Nariño	64	9,64
Quindío	27	4,07
Valle del Cauca	22	3,31
Antioquia	7	1,05
Atlántico	2	0,30
Bolívar	1	0,15
Risaralda	1	0,15
Total	664	100,0

Fuente: adaptado y modificado de Martínez Buitrago & Romero Coca (2018).

Estas industrias son en su mayoría de origen familiar, presentando un bajo nivel de tecnificación y careciendo por lo general de plantas básicas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI), destinadas a procesos básicos de remoción de sólidos y grasas (Ortiz & Carmona, 2015; Pinilla Arbeláez, 2014). La baja tecnificación de los procesos del curtido, conlleva a la contaminación del río Tunjuelito y a su vez la del río Bogotá, afectando la calidad del agua y provocando daños al ecosistema acuático, lo que desde luego limita el uso del recurso hídrico.

¿Por qué contaminan las curtiembres los efluentes hídricos?

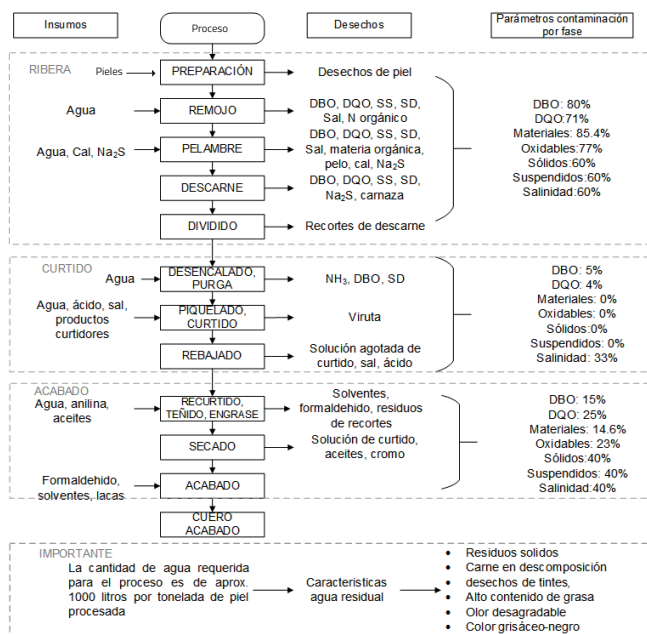
El curtido es el proceso de transformación de la piel de animales en cuero mediante la estabilización de las fibras de colágeno con agentes curtientes, ya sean agentes naturales (corteza de acacia negra, extracto de quebracho y mimosa) (Sierra García, 2018) que requieren de un tiempo prolongado de 1 o 2 semanas; o mediante curtientes químicos (soda caustica, taurol, sulfato de amonio, bisulfito de sodio, sulfato de cromo, tintes, entre otros) (Hernández, 2018; Ortiz & Carmona, 2015) con tiempo de elaboración de entre 8-24 horas, que evitan la descomposición de la piel y facilitan su empleo para la manufactura de productos marroquinos, talabarteros, entre otros (Cristancho Montenegro et al., 2019).

Este proceso se lleva a cabo en tres etapas: la ribera, donde se prepara la piel para ser curtida, se limpia y acondiciona, hasta que es dividida en dos capas, la carnaza y el cuero propiamente dicho. El proceso de curtido prepara la piel para ser transformada en materiales fuertes y resistentes a la putrefacción, esto mediante el empleo de agentes curtientes, mencionados anteriormente, que se fijan a las fibras de colágeno. En este destaca el empleo de sales

El curtido es el proceso de transformación de la piel de animales en cuero mediante la estabilización de las fibras de colágeno con agentes curtientes,

metálicas, siendo de mayor uso las sales de cromo que le confieren el color azul característico al cuero conocido como wet-blue. Por último, se procede al acabado, que es subdividido en dos etapas: acabado en húmedo, donde se confieren las características de suavidad, color y tacto a través de procesos de recurtido, teñido y escurrido; y acabado en seco, donde se otorga al cuero el aspecto final de color y brillo, permitiendo controlar posibles imperfecciones del producto, a través del secado, ablandado, pigmentado y planchado (Alcaldía de Bogotá, 2015). El texto anterior se esquematiza en la Figura 3, a través de un flujograma indicando las etapas del curtido, las respectivas subdivisiones, el desecho producido en cada una de las etapas, así como el porcentaje de los desechos que aportan al efluente.

Figura 3. Flujograma del proceso de curtido.



Fuente: adaptado de González Pachón (2019); Latorre Torres (2014).

Tabla 2. Comparación de parámetros según la normativa actual vs parámetros obtenidos en caso de estudio para empresa del sector de San Benito.

Parámetro Físicoquímico	Resolución 0883 de 2018 (mg/L)	Efluente curtiembre (mg/L)	Lista de cumplimiento
Alcalinidad total	Análisis y reporte	44,96	✓
Cromo	0,5	2.307	✗
Demanda bioquímica oxígeno (DBO)	100-600	1.763	✗
Demanda química oxígeno (DQO)	200-800	2.085	✗
Fenoles	Análisis y reporte	0,3	✓
Grasas y Aceites	10-25	20	✓
pH	6-9	10	✗
Sólidos disueltos totales (SDT)	80-200	9.552	✗
Sulfato	1	65,71	✗
Sulfuros	1,0	65,71	✗

Fuente: García Muñoz & Ramírez Rodríguez (2019); MADS (2018).

En Colombia, la normativa que regula la actividad de descarga de residuos en el agua por parte del sector industrial, ha desarrollado el índice de calidad del Agua (ICA), que permite, mediante variables físicoquímicas, conocer las condiciones de calidad de un cuerpo de agua (Franco González et al., 2017). Estas variables, se encuentran consolidadas y estipuladas en la Resolución 0883 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2018). A continuación, en la Tabla 2, se encuentran los parámetros permisibles para la descarga de agua residual, así como los datos de los vertimientos generados por una empresa del sector del barrio San Benito.

En la Tabla 2, la mayor parte de los parámetros establecidos en la resolución 0883 de 2018, no se cumplen por parte de algunas empresas dedicadas a ésta actividad, con una gran variabilidad en los parámetros ya que operan por lotes, con una producción de 500 unidades por mes en jornadas no continuas, y la carga residual de sus procesos de curtido son tratadas sólo para disminuir el contenido de grasas, para remover material orgánico y luego ser vertido al alcantarillado público sin ser debidamente tratada (García Muñoz & Ramírez Rodríguez,

La mayoría de las industrias curtidoras del sector de San Benito no cuentan con un procedimiento adecuado para el tratamiento de cromo en las aguas residuales que son vertidas en el río Tunjuelito.

2019). Para el año 2018, 50 curtiembres del sector de San Benito fueron selladas por el incumplimiento de la normativa con descargas que incluían residuos sólidos y peligrosos al río Tunjuelito. De las 254 empresas que en ese año el distrito supervisó, más del 50% fueron cerradas, dejando 74 establecimientos con licencia y permiso para el desarrollo de la actividad del curtido (Estupíñan, 2018).

La mayor carga contaminante se genera en las etapas de ribera (remojo y pelambre) así como en la de curtido (Figura 3), estos procesos aportan hasta un 90% de los contaminantes al efluente final, con altas concentraciones de materia orgánica (DQO y DBO), grasas y aceites, sólidos, sulfuros y cromo. Este último, genera

una gran preocupación, ya que hace parte del 21% del contenido del efluente final del proceso de curtido, que como se puede observar en la Tabla 2, sobrepasa por mucho el valor reglamentado de 0,5 mg/L, máximo permitido, con un valor de 2.307 mg/L.

El cromo se encuentra entre los oligoelementos más tóxicos liberados a las aguas superficiales y subterráneas debido a su uso generalizado en aplicaciones industriales, tales como el curtido de cuero (Jin et al., 2016). Su uso en los procesos de curtido se debe a que mantiene una estabilización permanente de la matriz de la piel para evitar la descomposición de esta por acción microbiana, además, de que le proporciona un color azul-verde característico, convirtiéndolo en el tipo de cuero wet-blue con mayor exportación a países del continente europeo y asiático, generando ingresos de hasta 70 millones de dólares al año según datos del DANE en el año 2015 (Alcaldía de Bogotá, 2015; Belay, 2010; González Pachón, 2019).

Tratamientos de carga residual actuales y tratamientos futuros

La mayoría de las industrias curtidoras del sector de San Benito no cuentan con un procedimiento adecuado para el tratamiento de cromo en las aguas residuales que son vertidas en el río Tunjuelito. Un ejemplo de esto es el requerimiento de aproximadamente entre 700 g y 900 g de sal de cromo (Cr(OH)SO_4 al 25%) para el curtido de una sola piel sin pelo (dimensión del cuero de 4-5 m², con calibre entre 1,0 a 2 mm). Para un lote de 100 pieles, se requiere de aproximadamente 48-50 kg de la sal, y para la producción de 33.000 pieles que es la cantidad estimada para un mes de trabajo, se requiere de aproximadamente 300 ton de la sal de cromo, con un coste aproximado de COL\$100'000.000 sin contar con los demás reactivos propios del proceso de curtido. Proporcionalmente, con el

elevado uso de sales de cromo, se obtiene una elevada cantidad resultante de cromo en las aguas residuales de las curtiembres, dependiendo de los procesos de cada microempresa, se pueden obtener muestras con concentraciones de cromo que varían entre 2.000 y 8.000 mg/L (Ortiz Penagos, 2013).

En contraste, estas microempresas del sector buscan alternativas para la reducción de la carga residual a través de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) (Carreño et al., 2016) mediante procesos físicos, químicos y biológicos simples, que si bien ayudan a remover parte de la carga de residuos

sólidos gruesos y grasas, no incluyen los demás componentes como son los metales pesados, principalmente el cromo. De forma resumida, en la Tabla 3 se presentan los procesos físicos, químicos y biológicos existentes en una PTARI de Bogotá para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres (Pérez, 2018; IDEAM, s.f.; Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.).

Tabla 3. Tratamientos de aguas residuales.

Método	Descripción	Etapas del tratamiento
Físicos: son aquellos en los que predominan las acciones de las fuerzas físicas.		
Desbaste	Se enfoca en la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción, es decir, mediante retención en la superficie. Esto se realiza mediante el uso de rejillas.	Preliminar
Trampa de grasas	Se separa las grasas no emulsionadas de los componentes ligeros del agua residual.	Preliminar
Flotación	Fuerza la entrada de aire en el agua residual para que los sólidos suspendidos más livianos asciendan a la superficie para ser removidos. Este proceso hace que los lodos activados tengan un mayor espesor.	Preliminar
Sedimentación	Separa los sólidos del agua en un tanque, que por el tiempo de retención permite la precipitación de los mismos.	Primario
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales, mediante mallas o filtros.	Preliminar
Químicos: son procesos en donde la eliminación y conversión de los contaminantes se consigue mediante la adición de sustancias químicas.		
Mezclado/ Desarenador	Mezcla de productos químicos y gases con las aguas residuales, separando las arenas y las partículas más pesadas que los sólidos controlando el tiempo de retención.	Preliminar
Coagulación	Se añaden productos químicos como el sulfato o cloruro de aluminio a las aguas residuales para que los sólidos en suspensión se adhieran los unos a los otros y precipiten.	Primario
Precipitación química	Uso de compuestos químicos que permitan la eliminación de fósforo y mejore la eliminación de los sólidos	Primario
Desinfección	Mediante compuestos clorados, realizar la eliminación de organismos patógenos que sean causantes de enfermedades.	Primario

<p>Biológicos: la eliminación de los contaminantes se realiza mediante a la actividad biológica de algunos microorganismos que asimilan la materia orgánica presente en las aguas residuales.</p>		
<p>Lodos activados</p>	<p>En este proceso se remueve la materia orgánica, mediante el uso de microorganismos que forman partículas gelatinosas de lodo y estas quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno para posteriormente ser sedimentadas.</p>	<p>Secundario</p>
<p>Nitrificación/ desnitrificación</p>	<p>Para la remoción del nitrógeno se realiza la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación). Mediante la reducción, el nitrato es convertido a nitrógeno (desnitrificación) que es emitido a la atmósfera. Principalmente se realiza con microorganismos que tengan un metabolismo con base al nitrógeno.</p>	<p>Terciario</p>

Se ha documentado que en algunas de las empresas curtidoras, se han implementado métodos químicos para la remoción de cromo de las aguas residuales, mediante el empleo de floculantes (aglutinadores de sólidos) como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), cloruro férrico ($FeCl_3$), hidroxiclорuro de aluminio ($Al_2(OH)_5Cl_2$) (Ortiz & Carmona, 2015).

Recientemente, la búsqueda de nuevas alternativas para el tratamiento de vertimientos del sector del curtido en países del viejo continente, mediante estudios en el campo de la nanotecnología, donde el control y reestructuración de la materia a niveles atómicos y moleculares en el rango de 1 a 100 nm, explota las propiedades y fenómenos a esa escala, destacando propiedades como el área superficial específica, la alta reactividad en procesos químicos y una gran resistencia mecánica, siendo de mayor uso compuestos con base en carbono, metales, óxidos metálicos y materia orgánica (Bhushan, 2017; Hasan, 2015; Liu et al., 2019).

Algunos de los estudios realizados en nanotecnología para la remediación de aguas residuales en procesos industriales se basan en el uso nanopartículas, por ejemplo, Senić et al. (2011) implementaron y aplicaron las nanopartículas de TiO_2 para obtener textiles inteligentes auto descontaminantes como una solución que ayude a mitigar la contaminación química producida por los tintes y colorantes en la

industria, . Dong et al. (2015), estudiaron varios fotocatalizadores, incluidos CdS , SnO_2 , WO_3 , SiO_2 , ZnO , Nb_2O_3 , Fe_2O_3 , siendo los fotocatalizadores de TiO_2 los más conocidos entre los óxidos metálicos por su alta eficiencia y bajo costo, estabilidad física y química, disponibilidad generalizada y propiedades no corrosivas para la degradación de contaminantes orgánicos como colorantes presentes en aguas residuales industriales .

Ren et al. (2017), realizaron un estudio de adsorción de $Cr(VI)$, utilizando nanopartículas de magnetita porosa sintetizadas a través de la reducción de residuos de titanio, realizando pruebas de adsorción / desorción por ciclos y donde clasificaron estas nanopartículas como un nanomaterial quimisorbente. La complicación de este tipo de material es que requiere de diluyentes que cambien la conformación de la nanopartícula para liberar los iones de cromo y a su vez para reordenar la conformación de esta.

Sobhanardakani et al. (2017) mencionan la síntesis de nanopartículas de magnetita funcionalizadas con TiO₂ y SiO₂ para la eliminación de iones de Cd (II), Hg (II) y Ni (II) de muestras de agua. Además, estas nanopartículas pueden separarse rápida y fácilmente usando un magneto antes y después del proceso de adsorción. Y los estudios de desorción mostraron que las nanopartículas de TiO₂ / SiO₂ / Fe₃O₄ podrían regenerarse fácilmente usando eluyentes.

La evidencia de estos estudios demuestra que las posibilidades que brinda la nanotecnología mediante la manipulación a pequeña escala de los materiales son una alternativa para la remediación de aguas residuales industriales provenientes de las curtiembres, y se pueden aplicar en nuestro medio para la reducción de la concentración de metales pesados y residuos orgánicos, mitigando el impacto ambiental en los ecosistemas hídricos de ríos como el río Tunjuelito y el río Bogotá. La aplicación de estos métodos nanotecnológicos podría tener una eficiencia cercana al 100%, ya que la mayoría de los estudios

descritos anteriormente, relacionan la cantidad de remoción del metal, en medios simulados, por lo que falta un mejor entendimiento de estos materiales en relación a los diversos factores del vertido de las aguas residuales industriales que incluyen el pH, así como la interacción con compuestos orgánicos como nitritos y fosfatos.

Implementar la nanotecnología en Colombia, es uno de los avances en el campo de las ciencias que permitiría dar solución a problemáticas cotidianas relacionadas con el ambiente, además de que el fortalecimiento por parte de los entes gubernamentales para el estudio y avance de la ciencia y tecnología en el país, es un paso más que nos llevaría al desarrollo de procesos sostenibles y sustentables, aumentando la productividad económica sin dejar de lado que abriría un nicho de mercado completamente nuevo para el desarrollo y producción de materiales nanoestructurados mediante la innovación, alcanzando así productos de un mayor valor agregado.

Agradecimientos

Al semillero de investigación NanoMat integrado por estudiantes y docentes de la UAN que promueve la capacidad investigativa y creativa de sus integrantes, alrededor de los temas correlacionados con los nanomateriales y su aplicación (nanotecnología), mediante la implementación de proyectos de investigación que se encuentren relacionados con el empleo, fabricación y aplicación de nanomateriales que den respuesta a soluciones o retos en el ámbito regional, nacional e internacional.

Referencias Bibliográficas

- OAB (2015). Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos. Bogotá. Observatorio Ambiental de Bogotá. Recuperado de: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlim_download&p=2891
- Archivo Semana (2016). La contaminación del río Bogotá impide aprovechar su potencial. Recuperado de: [<https://www.semana.com/economia/articulo/la-contaminacion-del-rio-bogota-impide-aprovechar-su-potencial/226565/>].
- Barros, J. (2020a). Río Bogotá, un guerrero ancestral que espera su renacer. Semana Sostenibilidad. Recuperado de [<https://www.semana.com/actualidad/articulo/rio-bogota-un-guerrero-ancestral-que-espera-su-renacer/49052/>]
- Belay, A. A. (2010). Impacts of Chromium from Tannery Effluent and Evaluation of Alternative Treatment Options. *Journal of Environmental Protection*, 1, 53–58. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.11007>
- Bhushan, B. (2017). Introduction to nanotechnology. Springer Handbooks. Springer. DOI: [<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54357-3>].
- Bralower, T., & Bice, D. (2019). Distribution of Water on the Earth's Surface | EARTH 103: Earth in the Future. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/701>
- Cardona Pérez, V. (2018). Plantas de tratamiento de aguas residuales del río Bogotá generan gases de efecto invernadero. Universidad Central. Recuperado de: [<https://www.ucentral.edu.co/noticentral/plantas-tratamiento-aguas-residuales-del-rio-bogota-generan-gases-efecto-invernadero>].
- Carreño Sayago, U. F., Perez, J. J., Cote Montañez, D., & Agatón, A. L. (2016). Modelación de un sistema de lodos activados en el sector de las curtiembres de San Benito Bogotá. *Producción + Limpia*, 11(2), 9–21. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a1>
- Cristancho Montenegro, D. L., Pinto Hernández, L. M., & Tique Hilarión, J. S. (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de electrocoagulación en los vertimientos de curtiembres en el sector de Villapinzón (Cundinamarca). *MUTIS*, 2, 34–48. <https://doi.org/10.21789/22561498.1590>
- Documentación IDEAM. (n.d.). Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021318/03TextoCompleto.pdf>
- Dong, H., Zeng, G., Tang, L., Fan, C., Zhang, C., He, X., & He, Y. (2015). An overview on limitations of TiO₂-based particles for photocatalytic degradation of organic pollutants and the corresponding countermeasures. *Water Research*, 79, 128–146. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.038>
- Estupiñan, K. (2018). Curtiembres selladas en San Benito. Retrieved June 6, 2020, from <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/curtiembres-selladas-en-san-benito>
- Franco González, N. G., Clavijo Rios, C., Niño García, S. L. & Salazar Neira, J. C. (2017). Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales “ICA” 2017. Recuperado de: [<https://www.car.gov.co/uploads/files/5a-da16a46c9f6.pdf>].
- García Muñoz, O. E. & Ramírez Rodríguez, L. N. (2019). Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre y marroquinería F.B. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C. Recuperado de: [<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7378/1/6132093-2019-1-IQ.pdf>]
- González Pachón, L. A. (2019). GESTIÓN PARA MITIGAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS CURTIEMBRES DE BOGOTÁ CON EL FIN DE CONCIETIZAR SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/21130/GonzalezPachonLuzAngelica2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hasan, S. (2015). A Review on Nanoparticles: Their Synthesis and Types. *Research Journal of Recent Sciences* (Vol. 4). Retrieved from www.isca.me
- Hernandez, E. (2018). Criterios de Implementación ISO 14001: 2015. Caso de estudio Sector Curtiembres. Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/19108/80245223.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Información de Bogotá en 2019 | Bogota.gov.co. (2019). Retrieved June 6, 2020, from <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/turismo/informacion-de-bogota-en-2019>

- Jin, W., Du, H., Zheng, S. & Zhang, Y. (2016). Electrochemical processes for the environmental remediation of toxic Cr(VI): A review. *Electrochimica Acta*, 191, pp. 1044-1055. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.130>].
- Latorre Torres, D. F. (2014). Diagnóstico ambiental y programa de control y seguimiento al sector curtiembres del barrio San Benito de la ciudad de Bogotá. Universidad de La Salle, Bogotá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=maest_ingenieria
- Liu, L., Luo, X.-B., Ding, L., & Luo, S.-L. (2019). Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814837-2.00004-4>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución N° 0883 de 2018.
- Ortiz, N. E. & Carmona, J. C. (2015). Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Revista Luna Azul*, 40(enero-junio), pp. 117-126. DOI: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742015000100009]
- Ortiz Penagos, N. E. (2013). RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE CROMO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE CURTIDO DE CURTIEMBRES DE SAN BENITO (BOGOTÁ), MEDIANTE UN PROCESO SOSTENIBLE Y VIABLE TECNOLÓGICAMENTE. UNIVERSIDAD DE MANIZALES. Retrieved from http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1076/Ortiz_Penagos_Nidia_Elena_2013.pdf?sequence=1
- Pinilla Arbeláez, D. E. (2014). Precipitación de cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito (Bogotá). Universidad Santo Tomás. Recuperado de: [<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2647>]
- POMCA Río Bogotá. (2016). AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ, (Código 2120).
- Ren, G., Wang, X., Huang, P., Zhong, B., Zhang, Z., Yang, L. & Yang, X. (2017). Chromium (VI) adsorption from wastewater using porous magnetite nanoparticles prepared from titanium residue by a novel solid-phase reduction method. *Science of the Total Environment*, pp. 607-608; 900-910. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.103>]
- Secretaría Distrital de Ambiente (s.f.). Guía conceptual sobre la Ptar Salitre. Recuperado de: [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/PTAR/guia_concPTARSalitre.pdf]
- Senić, Ž., Bauk, S., Vitorović-Todorović, M., Pajić, N., Samolov, A., & Rajić, D. (2011). Application of TiO₂ nanoparticles for obtaining self-decontaminating smart textiles. *Scientific Technical Review*, 61(3-4), 63-72. Retrieved from <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2011/34-11/8/08.pdf>
- Sierra García, S. C. (2018). Environmental effects generated by the discharges of the leather tanning industries: implications in the high basin of the bogotá river. Recuperado de: [<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17868>]
- Sobhanardakani, S., & Zandipak, R. (2017). Synthesis and application of TiO₂/SiO₂/Fe₃O₄ nanoparticles as novel adsorbent for removal of Cd(II), Hg(II) and Ni(II) ions from water samples. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(7), 1913-1925. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1374-5>
- Vásquez Daza, L. (2012). Las curtiembres en el Barrio San Benito de Bogotá. Un análisis bioético en la perspectiva de Hans Jonas. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de: [<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/2144>]
- Yang, J., Hou, B., Wang, J., Tian, B., Bi, J., Wang, N., ... Huang, X. (2019). Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Nanomaterials*, 9(3), 424. <https://doi.org/10.3390/nano9030424>