

APROVECHAMIENTO DE CROMO ELIMINADO EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES (SAN BENITO, BOGOTÁ), MEDIANTE TRATAMIENTO CON SULFATO DE SODIO

Nidia Elena Ortiz¹
Juan Carlos Carmona²

Recibido el 10 de diciembre de 2013, aprobado el 29 de septiembre de 2014,
actualizado el 1 noviembre de 2014

DOI: 10.17151/luaz.2015.40.9

RESUMEN

El proceso de curtido consiste en transformar la piel de ganado vacuno u otros animales, en cuero, mediante la aplicación de taninos que son sustancias de origen vegetal, o también de cromo. Este elemento es un contaminante cuya concentración máxima permisible en vertimientos industriales es de 1 mg/L, según la Resolución 1074 de 1997 del Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA), para el Distrito Capital, por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos. Se evaluó la factibilidad técnica para recuperar y reutilizar cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de una curtiembre en San Benito (Bogotá), precipitándolo con soda cáustica 4 M y regenerándolo con sulfato de sodio y ácido fórmico grado industrial en reemplazo de ácido sulfúrico, regulado por estupefacientes, para reutilizar la sal de cromo en el mismo proceso de curtido. Su implementación minimiza contaminación de aguas con cromo y disminuye costos de producción. Se redujo el contenido de cromo del agua residual del proceso de curtido en 99,9% desde concentraciones promedio de 2.475 mg/L hasta niveles inferiores a 1,0 mg/L, permitiendo reutilización del agua para lavado de pieles saladas que ingresan al proceso, después de tratamiento con hidroxloruro de aluminio e hipoclorito de sodio, disminuyendo significativamente su consumo. Se determinó la calidad del cuero obtenido mediante pruebas de encogimiento y resistencia a la flexión. Los procesos de reutilización de materiales producidos como desecho en procesos de curtiembres son fundamentales en la sostenibilidad ambiental de estas industrias.

PALABRAS CLAVE

Aguas residuales, curtiembres, cromo, sulfato de sodio, reutilización.

CHROMIUM RECOVERED AND RE-USED FROM TANNERY RESIDUAL WATER (LOCATED IN SAN BENITO, BOGOTÁ), BY TREATMENT WITH SODIUM SULPHATE

ABSTRACT

The tan processes consist in the transformation of cattle or other animal skin in leather through the application of tannins which are substances from vegetal origin, or also with chromium. This element is a pollutant which maximum allowed concentration from industrial disposal is 1 mg/L, under Resolution 1074 of 1997 from the Administrative Department of the Environment (ADE) for the Capital District which establishes environmental standards on dumping. Technical feasibility for chrome recovery and reuse of wastewater from the tanning process in a tannery in San Benito (Bogotá) was evaluated, accelerating it with 4 M caustic soda and regenerating it with sodium sulfate and formic acid (industrial grade) in place of

sulfuric acid, regulated by drugs, to reuse the chromium salt in the tanning process. Its implementation minimizes water pollution with chromium and decreases production costs. Chromium content of residual water in the tanning process decreased 99.9% from average concentrations of 2,475 mg / L to levels below 1,0 mg/L, allowing reuse water for salted skins wash that start the process after treatment with aluminum chloride hydroxide and sodium hypochlorite, reducing its consumption significantly. The quality of leather obtained was determined by shrinkage tests and bending strength. Processes of materials produced reuse as waste in tan processes are fundamental to the environmental sustainability of these industries.

KEY WORDS

Waste water, leather industries, chromium, sodium sulfate, re-use.

INTRODUCCIÓN

En el sector de San Benito, localidad de Usme (Bogotá), se encuentran registradas 265 curtiembres que representan más del 50% de las industrias curtidoras del país (Secretaría Distrital de Ambiente, 2008). La mayoría son pequeñas fábricas de origen familiar, con poca tecnificación y personal con conocimiento empírico (Germillac, 2007).

“El proceso de curtido consiste en transformar la piel de ganado vacuno u otros animales, en cuero, que es una valiosa materia prima, incorruptible, flexible e inmune al ataque bacteriano” (Ortiz, 2012, p. 145). Este proceso se puede realizar mediante taninos, sustancias de origen vegetal, requiriendo entre una y dos semanas, o con cromo en un período de 6 a 8 horas (Ortiz, 2012).

El curtido vegetal es el realizado con taninos que aportan polifenoles, que son agentes astringentes; el proceso es lento, pues requiere entre una y dos semanas, por otro lado, el curtido químico con cromo es mucho más rápido y se realiza en un período de 6 a 8 horas (Azdet, 2000). La calidad del cuero depende principalmente de la cantidad y homogeneidad del cromo fijado en el colágeno de la piel. El proceso de curtido utiliza exceso de cromo para garantizar la fijación de este en las proteínas de la piel y evitar la descomposición del cuero, infortunadamente el cromo es altamente carcinogénico (Franco, Fernández y Torres, 2000), lo cual genera un llamado de atención a las industrias que lo emplean y a los agentes y entidades reguladores de los procesos de contaminación ambiental.

El cromo es un contaminante cuya concentración máxima permisible como cromo total en vertimientos industriales es de 1 mg/L (DAMA, Resolución 1074 de 1997). El Decreto 3930 aún no ha publicado los parámetros básicos permisibles para vertimientos a nivel nacional. Actualmente la Secretaría Distrital de Ambiente trabaja en el diseño de una planta de tratamiento que abarque los vertimientos de las curtiembres de San Benito, proceso que se inició en el año 2009 (CAR, 2009), sin presentar aún resultados específicos al respecto.

Algunas de las industrias curtidoras de la zona han implementado tratamientos basados principalmente en el uso de floculantes; el alumbre, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, cubre valores de pH en el rango de 5,0 a 7,5; el cloruro férrico entre 4,8 y 11 (Castillo, 2011). El hidroxloruro de aluminio, $Al_2(OH)5Cl_2 \cdot 5H_2O$, es una sal inorgánica de aluminio multinuclear capaz de formar con mayor rapidez y perfección flóculos con

mayor velocidad de sedimentación y poder clarificante logrando remociones más altas de turbiedad respecto a otras sales de aluminio mononuclear como el sulfato de aluminio, Al_2SO_4 , y el cloruro de aluminio, $AlCl_3$; el pH óptimo de funcionamiento está entre 5,0 y 9,0 (Cogollo, 2010).

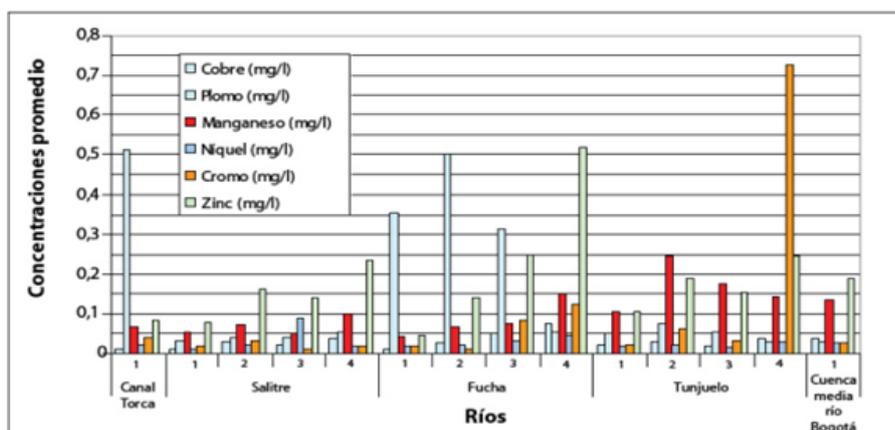
Las aguas del proceso de curtido tienen pH ácido, entre 2 y 4; en este rango de pH el cromo trivalente es muy soluble y los floculantes prácticamente no alcanzan a precipitarlo; la cantidad que puede ser retenida por material adsorbente como carbón activado genera lodos residuales sin reutilización del cromo por quedar contaminado con otras sustancias retenidas por el carbón, además de la rápida saturación de este último debido a la elevada concentración del cromo. Otras industrias utilizan como agente precipitante la cal, que si bien disminuye la concentración de cromo en las aguas residuales, incrementa la producción de lodos (Schleenstein, 2002). Estos sistemas de tratamiento no producen los resultados ambientales que se requieren, pues el índice de remoción está muy por debajo de lo requerido, y como no ofrecen la posibilidad de recuperar el cromo para su reutilización, se convierten en un sobre costo para las industrias (DAMA, 2006).

La mayoría de las aguas residuales de las industrias curtidoras del barrio San Benito no cuentan con suficiente tratamiento y por lo tanto salen con concentraciones de cromo trivalente de 2.000 a 8.000 mg/L, determinado por pre-experimentación, contaminando las aguas y afectando la vida acuática del río Tunjuelito, que recibe cada día aproximadamente unos 200 kg de cromo proveniente de esas industrias (Ortiz, 2013), siendo más afectado el río Tunjuelito por la actividad de las curtiembres las cuales se ubican en el tramo 4, donde descarga el interceptor Tunjuelo medio que recoge las aguas residuales de San Benito (CAR, 2009). Las aguas del río Bogotá a su paso por el departamento de Cundinamarca, después de recibir las aguas del río Tunjuelito, son utilizadas para riego de cultivos que absorben cromo, afectando a la población que los consume. Otros cultivos son afectados por recibir estas aguas contaminadas por lixiviación.

Además, el río Bogotá vierte sus aguas al río Magdalena, impactando negativamente la vida acuática y su utilización como fuente de riqueza alimentaria (pesca), como abastecimiento de agua para uso humano y de riego. La población afectada por la contaminación de los cuerpos de agua receptores de los vertimientos de las aguas residuales de curtiembres de San Benito incluye flora, fauna y población humana. La disminución significativa de la calidad de estos cuerpos de agua afecta sus posibilidades de potabilización para abastecer de agua para consumo a poblaciones que sin las condiciones ambientales desfavorables producidas, se podrían beneficiar de estas aguas (Vásquez, 2012).

Se presentan, además de las situaciones ambientales directamente relacionadas con el uso y desecho del cromo, problemas de desempleo por cierre de curtiembres, debido a carencia de la licencia ambiental. En diciembre de 2008 fueron cerradas 26 curtiembres del sector de San Benito, debido a que la Secretaría Distrital de Ambiente comprobó que vertían sus aguas residuales sin tratamiento previo produciendo elevada afectación ambiental en el río Tunjuelito; además, fueron sancionadas con multas que superaban los cuatro millones de pesos (Caracol Radio, 2008).

En la **Figura 1** se observa que el cromo es el metal pesado con mayor concentración en el sistema hídrico de Bogotá, afectando al río Tunjuelito por actividad de curtiembres ubicadas en el tramo 4 (CAR, 2009). El nivel de cromo se encuentra en concentraciones superiores a 0,1 mg/L, límite admisible del agua para uso agrícola (Ministerio de Agricultura, 1984).



Fuente: Convenio 005/2006 SDA-EAAB-ESP (EAAB, 2009).

Figura 1. Concentraciones de metales pesados en el sistema hídrico de Bogotá.

El presente trabajo evaluó la factibilidad técnica de la recuperación del cromo de aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito, precipitándolo con hidróxido de sodio, para ser reutilizado en el mismo proceso, regenerándolo con sulfato de sodio y un ácido diferente al sulfúrico que es regulado por la Dirección Nacional de Estupefacientes (MinJusticia). Su implementación representaría una solución rentable para empresas curtidoras por aprovechamiento del cromo residual del proceso de curtido y contribuiría en la solución de conflictos ambientales y legales que presentan desde hace décadas, disminuyendo contaminación de cuerpos de aguas y costos de producción.

METODOLOGÍA

En la investigación científica se consideran dos enfoques metodológicos: el cualitativo y el cuantitativo. La metodología cualitativa tiene como fin describir las cualidades de un fenómeno, buscando entendimiento en profundidad en lugar de exactitud; sin recurrir a la cuantificación, se realizan registros narrativos de los fenómenos de estudio por medio de técnicas como la observación y la interacción con los sujetos de estudio en contextos estructurales y situacionales. La metodología de investigación cuantitativa es aquella en la que se generan y analizan datos cuantitativos sobre variables, con el fin de estudiar la asociación o relación entre estas, intentando determinar su fuerza de asociación o correlación, la generalización y objetivación de los resultados para inferir la causalidad que explique los fenómenos (Popper, 2005).

Para el desarrollo de esta investigación, se partió de los resultados obtenidos en un trabajo previo a este (Ortiz, 2013), que tiene enfoque metodológico cuantitativo, donde se determinó que después de filtrar el agua residual del proceso de curtido a través de un filtro de malla 100 (código Mesh) en acero inoxidable, se retiene el 97% de sólidos en suspensión y posteriormente se reduce el contenido de cromo del agua residual en 99,9% desde concentraciones promedio de 2.475 mg/L hasta una concentración promedio de 0,791 mg/L por precipitación con soda cáustica grado industrial 4 M ajustando pH inicial de 9; si después de precipitar el cromo, el agua es tratada con policloruro de aluminio como floculante y con hipoclorito de sodio, el contenido de cromo puede disminuir hasta una concentración promedio de 0,081 mg/L, obteniéndose en ambos casos concentraciones menores a 1 mg/L (límite permisible, Resolución 1074 de 1997 para el Distrito Capital). La sal de cromo,

sulfato básico de cromo, puede ser regenerada a partir del hidróxido de cromo precipitado, adicionando ácido sulfúrico; esta sal puede mezclarse con sal de cromo comercial en proporción 40:60 en peso respectivamente, obteniéndose cuero de la calidad requerida a partir de las pruebas de encogimiento y resistencia a la flexión.

El presente trabajo tiene un enfoque de tipo cuantitativo, debido a que se realizaron dos diseños experimentales mono-variables, para evaluar en cada uno, el efecto de una variable independiente sobre variables dependientes medibles o cuantificables (Montgomery, 2005).

En el primer diseño experimental mono-variable, se evaluó el efecto de la variable independiente, tipo de ácido seleccionado, sobre la variable dependiente cuantitativa, porcentaje de encogimiento del cuero. Se pretende determinar, el tipo de ácido más adecuado, en reemplazo del ácido sulfúrico, para ser mezclado con sulfato de sodio para regenerar el cromo precipitado del agua residual con hidróxido de sodio como agente precipitante.

Se realizó el segundo diseño experimental mono-variable, para determinar el efecto de la variable independiente, proporción de sal de cromo recuperada y regenerada mezclada con sal de cromo comercial para curtir pieles, sobre las variables dependientes correspondientes a la calidad del cuero obtenido determinada por las pruebas de encogimiento y resistencia a la flexión en húmedo, para cuero para calzado colegial y para confección.

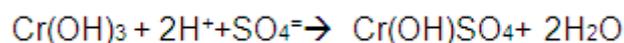
Los ensayos se realizaron en la curtiembre Pieles del Sur, ubicada en el sector de San Benito (Bogotá). La experimentación se realizó en una planta piloto y para cada ensayo se curtió una piel de ganado vacuno. Se realizaron ensayos paralelamente tratando pieles para producir cuero para calzado colegial y para confección.

Primera etapa: regeneración del cromo como sulfato básico de cromo para reutilización en el proceso de curtido. Se realizó un diseño experimental mono-variable para determinar el efecto del tipo de ácido que proporcionan los iones hidrogeniones, H^+ , mezclado con sulfato de sodio que aporta los iones sulfato, SO_4^{2-} , para regenerar el cromo y obtener la sal sulfato básico de cromo, $CrOHSO_4$, sobre la calidad del cuero obtenido, determinada mediante la prueba de encogimiento que se realizó al cuero recién curtido. Se determinó el efecto de la variable independiente, tipo de ácido para regenerar la sal de cromo, sobre la variable dependiente porcentaje de encogimiento del cuero. Para cada ensayo se adicionó el tipo de ácido ensayado hasta ajustar el pH de 3,3 a 3,5 en la sal regenerada, que es el requerido en los baños de curtido. Para curtir cada piel se requieren 800 g de sal de cromo; se utilizó una mezcla de 70% de sal de cromo comercial que corresponde a 560 g y el excedente necesario se suministró con la sal de cromo regenerada.

Los ácidos seleccionados fueron: acético, CH_3COOH , cítrico, $C_6H_8O_7$, y fórmico, $HCOOH$. El ácido fórmico tiene solo un carbono y el acético tiene dos, lo que implica que sus constantes de ionización son relativamente altas y por consiguiente pueden aportar más iones hidrogeniones que los ácidos débiles de cadena más larga cuyas constantes de ionización son menores; el ácido cítrico tiene seis carbonos. Estos ácidos son de fácil consecución en el mercado y el ácido fórmico es ampliamente utilizado en los procesos de curtición. La constante de ionización del ácido fórmico es $1,8 \cdot 10^{-4}$, la del ácido acético es $1,8 \cdot 10^{-5}$ y el ácido cítrico tiene tres constantes de ionización, siendo la primera $7,4 \cdot 10^{-4}$, la segunda $1,7 \cdot 10^{-5}$ y la tercera $4,0 \cdot 10^{-7}$ (Petrucci, 2003).

Cada ensayo se realizó por duplicado para un total de seis (6) ensayos.

La reacción química entre el hidróxido de cromo, los iones hidrogeniones del ácido suministrado y los iones sulfato del sulfato de sodio, para producir la sal sulfato básico de cromo es:



Segunda etapa: con base en los resultados de la primera etapa, se realizó un diseño experimental mono-variable, para evaluar el efecto de la variable independiente porcentaje de sulfato básico de cromo regenerado con ácido fórmico y sulfato de sodio, y porcentaje de sulfato básico de cromo comercial (30:70, 35:65 y 40:60) sobre la calidad del cuero obtenido, determinada mediante la prueba de encogimiento que se realizó al cuero recién curtido (norma IUP 16) y resistencia a la flexión realizada al cuero terminado después de los procesos de recurtido, teñido y acabados (IUP, 2010). Cada ensayo se realizó por duplicado y, además, se realizó un ensayo donde se utilizó la sal de cromo regenerada, reutilizada y vuelta a regenerar varias veces, en proporción de 40% mezclada con 60% de sal de cromo comercial, para un total de 7 ensayos en dos tipos de cuero: para confección (calibre 2) y para calzado colegial (calibre 12). Por consiguiente, el total de ensayos fue de 14.

No es conveniente utilizar, con esta metodología, un porcentaje mayor de 40% de sal de cromo regenerada porque esta se obtiene mezclada con agua. Porcentajes mayores de esta sal producen baños de curtido más diluidos debido a que la sal de cromo comercial se adiciona en polvo, sin disolver previamente, sobre el agua utilizada en el proceso previo al curtido, que es el proceso de piquelado, utilizado para dar suavidad a la piel y proporcionarle el pH ácido requerido para realizar en la siguiente etapa el curtido.

RESULTADOS

Primera etapa: Regeneración de la sal de cromo utilizando tres tipos de ácido.

La matriz experimental y los resultados obtenidos, se muestran a en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje de encogimiento de la piel después del proceso de curtido

Tipo de ácido					
Fórmico		Acético		Cítrico	
0,0	0,0	10,5	11,0	10,0	10,5

Fuente: autora principal.

Como se observa en la **Tabla 1**, solamente el ácido fórmico presentó buenos resultados, mostrando combinación del cromo con las cadenas peptídicas del colágeno de la piel, lo que se manifiesta en el nulo encogimiento del cuero. Los ácidos acético y cítrico presentan elevado porcentaje de encogimiento, siendo cero el requerido para cuero destinado a calzado colegial o para confección.

Estos resultados muestran que el ácido fórmico, por ser el de cadena más corta de los tres ácidos, es el que presenta mayor ionización y por consiguiente alcanza a

proporcionar los iones hidrogeniones necesarios para reaccionar con el precipitado de hidróxido de cromo y formar la sal sulfato básico de cromo. Los ácidos acético y cítrico de cadena más larga y por consiguiente con menor capacidad de ionización, no alcanzan a suministrar los iones hidrogeniones requeridos para la formación de la sal de cromo, presentando elevado porcentaje de encogimiento del cuero.

Segunda etapa: Diseño experimental para determinar la calidad del cuero obtenido, mezclando sal de cromo regenerada con ácido fórmico y sal de cromo comercial.

Las pieles correspondientes a todos los ensayos pasaron la prueba de encogimiento según la Norma IUP 16 y fueron sometidas a los procesos de recurtido, acabado y teñido, después de los cuales se les realizó la prueba de resistencia a la flexión en húmedo en los laboratorios de análisis de Tauroquímica, según la Norma IUP 20 con flexómetro Bally.

La matriz experimental y los resultados obtenidos, se muestran en la **Tabla 2** y **Tabla 3**.

Tabla 2. Porcentaje de encogimiento de la piel después del proceso de curtido

Tipo de cuero	Porcentaje sulfato básico de cromo regenerado / Porcentaje sulfato básico de cromo comercial utilizado en el proceso de curtido						
	30/70		35/65		40/60		Cromo Re-reutilizado 40/60
Calzado colegial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Confección	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: autora principal.

Tabla 3. Resistencia a la flexión en húmedo del cuero terminado

Tipo de cuero	Porcentaje sulfato básico de cromo regenerado / Porcentaje sulfato básico de cromo comercial utilizado en el proceso de curtido						
	30/70		35/65		40/60		Cromo Re-reutilizado 40/60
Calzado colegial	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000
Confección	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000	>20000

Fuente: autora principal.

En la **Tabla 2** se observa que las pieles curtidas utilizando todas las mezclas ensayadas de sulfato básico de cromo regenerado con sulfato básico de cromo comercial no presentaron encogimiento, lo que significa que la absorción de cromo fue suficiente para evitar la degradación de estas.

Los resultados de resistencia a la flexión que se muestran en la **Tabla 3**, indican que la calidad del cuero obtenido mezclando las sales de cromo regenerado y comercial, es la requerida, superando los 20.000 ciclos en húmedo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puede utilizarse sal de cromo recuperada con ácido fórmico y sulfato de sodio, mezclada con sal de cromo comercial en todas las proporciones ensayadas, siendo la más conveniente la proporción 40:60 en peso respectivamente, porque consume más cromo recuperado y menos sal de cromo comercial, obteniéndose cuero con parámetros de calidad requeridos para calzado colegial y confección con cero porcentaje de encogimiento en la prueba de ebullición y más de 20.000 ciclos sin rompimiento en la prueba de resistencia a la flexión en húmedo en flexómetro Bally. Porcentajes mayores de sal de cromo recuperada no son convenientes porque diluirían el baño de cromo, ya que no debe utilizarse exceso de agua en estos donde son favorables las mayores concentraciones de cromo, y la sal de cromo regenerada no se obtiene seca.

El cromo se puede recuperar, regenerar y reutilizar en el mismo proceso de curtido, después de haber pasado previamente por estos mismos procesos de reutilización; o sea que puede re-reutilizarse repetidas veces, obteniéndose cuero de calidad requerida para calzado colegial y confección.

Se recomienda utilizar ácido fórmico grado comercial del 85% en peso, sin diluir para regenerar el cromo, porque así se obtiene la sal más concentrada para reemplazar 40% de la sal de cromo comercial, que se dosifica en estado sólido en el proceso de curtido para obtener baños concentrados de cromo. Sin embargo, la sal comercial para curtir pieles, sulfato básico de cromo, contiene solamente entre 15% y 17% en peso de cromo, que indica una pureza relativamente baja, porque el porcentaje de cromo en el sulfato básico de cromo puro es de 31,5.

La cantidad de ácido fórmico se debe suministrar al precipitado húmedo de hidróxido de cromo hasta alcanzar el pH requerido en los baños de curtido, de 3,3 a 3,5.

REFERENCIAS

- Azdet, J.M. (2000). *Química Técnica de Tenerife*. México: Alfaomega.
- Corporación Autónoma Regional (CAR). (2009). Adecuación hidráulica y recuperación ambiental Río Bogotá. Recuperado de http://www.car.gov.co/recursos_user/Proyectos%20Especiales/RIO%20BOGOTA/Evaluacion%20Ambiental%20Volumen%20I.pdf
- Caracol Radio. (2008, 22 de diciembre). Cerradas veintiseis curtiembres en Bogotá por contaminación ambiental. Recuperado de <http://www.caracol.com.co/noticias/bogota/cerradas-veintiseis-curtiembres-en-bogota-por-contaminacion-ambiental/20081222/nota/735341.aspx>
- Castillo, J. (2011). *Procesos de Tratamientos de aguas*. Venezuela: Universidad Nacional Experimental, Francisco Miranda, Venezuela. Recuperado de <http://www.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>
- Cogollo, J. (2010). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5419/1/juanmiguelcogollo.2011.pdf>
- Departamento Administrativo de Medio Ambiente (DAMA). (1997). Resolución 1074 del 28 de octubre de 1997, Registro Distrital 1528 de octubre 30 de 1997, Bogotá.

- _____ (2006). Universidad de la Sabana. Convenio 014 de 2006. Inventario de carácter ambiental en el sector de San Benito, 2006. Bogotá.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, ESP. (2009). Nota de los Estados Contables por el Periodo Terminado el 31 de diciembre de 2009. Recuperado de http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/Financieros2009/NEContables_Dic09.pdf
- Franco, D., Fernández, V. y Torres, E. (2000). Evaluación de la actividad genotóxica de efluentes de curtiembres del departamento central de la región oriental, Paraguay. *Ciencia y Tecnología*, 2, 37-48. Asunción, Paraguay. Procesos industriales Virtual Pro. No. 62. ISSN 1900-6241. Iberoamérica.
- Germillac, M. (2007). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial en curtiembres*. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago de Chile. Procesos industriales Virtual Pro. No. 62. ISSN 1900-6241. Iberoamérica.
- IUP (International Union Physical Test). (2010). *Normas Oficiales de la Unión Internacional de Asociaciones de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero IULTCS*. Comisión de Investigación Física. Norma IUP 16 Prueba de encogimiento del cuero y Norma IUP 20 Resistencia a la flexión del cuero. Recuperado de http://www.aaqtic.org.ar/e_50-revista.htm#2 y http://www.cueronet.com/normas/normas_iup.htm
- Ministerio de Agricultura. (1984). *Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, concentraciones máximas permisibles para verter a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público*. Diario Oficial 36700 de julio 26 de 1984, Bogotá, Colombia.
- Montgomery, D. (2005). *Diseño y análisis de experimentos*. 2ª Ed. México: Limusa-Wiley.
- Ortiz, N. (2012). Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales de curtiembres de San Benito, Bogotá. *Intekhnia*, 7(2), 143-161. ISSN: 1900-7612.
- Petrucci, R. (2003). *Química General*. 8ª Ed.. México: Pearson.
- Popper, K. (2005). *La lógica de la investigación científica*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2008). Diagnóstico final de la cadena productiva del cuero en San Benito, Bogotá.
- Schleenstein, G. (2002). Treatment of tannery wastewater. Eschbom, Alemania. Procesos industriales Virtual Pro. No. 62. ISSN 1900-6241. Iberoamérica.
- Vásquez, L. (2012). *Las curtiembres en el barrio San Benito de Bogotá. Un análisis bioético en la perspectiva de Hans Jonas*. Trabajo de Grado, Magíster en Bioética. Universidad Javeriana, Bogotá.

-
1. MSc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá (Cundinamarca), Colombia. elenasinh500@hotmail.com
 2. MSc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente Facultad de Ciencias de la Salud, Grupo de Investigación Médica, Tutor Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Manizales.
-

Para citar este artículo: 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, 117-126. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=1003>