

VIABILIDAD DE PRODUCCION DE CELULOSA XANTOGENATO A GRAN ESCALA

Autor1 Maria Camila Rivera Oyola^a

^a Ingeniería Industrial, Fundación Universitaria Los Libertadores,
mcriverao@libertadores.edu.co

Resumen— Este artículo tiene como objetivo realizar un diseño a escala de un filtro biológico a base de celulosa xantogenato de *E. Crassipes* como sistema de tratamiento alternativo de agua residual contaminada por metales pesados, generada durante el proceso de curtido, de manera que se permita evaluar la viabilidad del mismo en el mercado actual de industrias curtidoras del país.

El filtro biológico de este artículo va dirigido a toda aquella curtiembre que quiera adoptar una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de las aguas contaminadas por cromo consecuentes de sus procesos productivos, generando de esta manera un cumplimiento de las normas establecidas por el Ministerio de ambiente, aportando a su vez a la disminución de la contaminación de los ríos aledaños a causa de los vertimientos y al desarrollo productivo la industria curtidora del país.

De igual manera, el artículo muestra un breve estudio del mercado, en donde se busca identificar y estudiar las características del nicho de mercado de tal forma que permita obtener información confiable de los consumidores, así como información real de consumo para que el diseño del filtro biológico sea lo más acercado a la realidad posible y cumpla con las necesidades de la industria, logrando de esta manera proponer un sistema eficiente y económico ajustado a cada caso.

Palabras clave— Sistema de tratamiento alternativo, celulosa xantogenato, Metales pesados, Aguas residuales contaminadas.

Abstract— The objective of this article is to design an escalation of a biological filter, an xanthogenate cellulose base from *E. Crassipes*, as a wastewater treatment system contaminated by heavy metals, generated during the tanning process, in the way that can be chosen. Feasibility of the same in the current market of tanning industries of the country.

The biological filter of this article will be directed to everyone that will adapt to the media. , contributing in turn to the reduction of the pollution of the surrounding rivers to the cause of the vertimientos and the productive development of the tanning industry of the country.

Similarly, the article shows a brief study of the market, which seeks to identify and study the characteristics of the market in the way that reliable information can be obtained from users, as well as the actual information for the design of the filter. more we like is an efficient and economic system adjusted to each case.

Keywords— Alternative treatment system, xanthogenate cellulose, heavy metals, contaminated wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

En estudios realizados a la comprobación de las propiedades de la *Eichhornia crassipes* en la retención de cromo presente en aguas contaminadas con metales pesados, se afirma que la celulosa de la *Eichhornia crassipes* es una alternativa económica y eficiente a la hora de remover metales pesados. (Saraswat 2010, Martinez et al. 2013, Thi et al. 2017, Adanikin

et al. 2018). Desarrollar tecnologías de tratamiento a través de zeolitas y plantas acuáticas se vuelve una opción ejecutable en las industrias que vierten metales pesados a los cuerpos de agua y causan graves daños al ecosistema (Carreño 2016). Un sistema de tratamiento con zeolitas y después con *Eichhornia crassipes* es económico y fácil de conseguir, al tiempo que se obtienen resultados eficientes (Carreño 2016). Sin embargo, la fitorremediación con esta planta carece de un sistema a escala que permita determinar los costos de producción para determinar la viabilidad del mismo en el mercado colombiano, en este caso

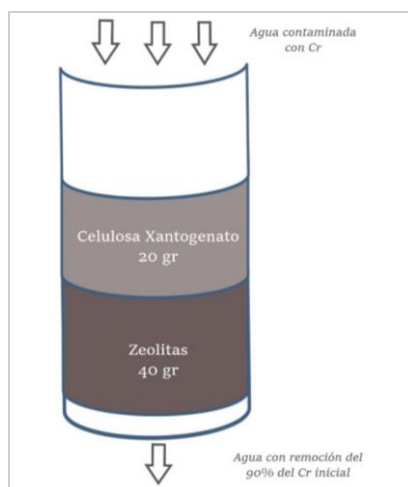
para el diseño y creación de plantas que realicen tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados en sectores críticos de la ciudad como lo es principalmente las curtiembres. De esta problemática parte la necesidad de un sistema alternativo de tratamiento que se ajuste a las condiciones económicas en este tipo de industrias.

Para el tratamiento de aguas residuales consecuentes de procesos industriales se han realizado diferentes tipos de estudios, experimentos y pruebas piloto, en los cuales se utilizan zeolitas o material vegetal como componente principal para la creación de filtros biológicos de tratamiento, cuyos resultados han demostrado ser eficientes en la remediación de agua. (Blanco et al. 2014); (Leyva et al. 2008); (Guocheng et al. 2014).

En estudios y pruebas piloto, se ha demostrado la capacidad de absorción y reducción de metales pesados de las zeolitas, como lo es el caso de Narvaez, D. (2009), en donde se realizó estudio de caso con zeolitas sintetizadas a partir de residuos de carbón para la remoción de arsénico en agua para consumo humano, en el cual se obtuvieron altos porcentajes de adsorción (99,5%) dentro de las primeras 48 horas de estudio. De igual manera, se han realizado estudios de aplicaciones de zeolitas para tratar aguas residuales de curtiembres, en donde los resultados evidencian una remoción de más del 60% del cromo inicial contenido.

El sistema de tratamiento propuesto consta de un filtro biológico de 30cm de diámetro interno y 150 cm de altura con material de soporte de vidrio, compuesto de material orgánico (20 gr de Celulosa Xantogenato y 40 gr de Zeolitas), el cual tiene una eficiencia de remoción del 90% de la concentración de cromo inicial en las aguas residuales del proceso de curtido. Los tratamientos se realizan de manera vertical y en forma descendiente como lo muestra la figura 1.

Figura 1. Filtro Biológico



Fuente: Autor

II. JUSTIFICACIÓN

El uso de esta biomasa plantea la oportunidad de creación un sistema alternativo para el tratamiento eficiente de aguas residuales tomando aprovechamiento de la abundancia de la *E. crassipes* en los humedales de la ciudad de Bogotá de forma que el costo generado para el proceso de tratamiento sea significativamente menor que el generado por las plantas convencionales.

En la actualidad, diferentes tecnologías están a disposición para la remoción de metales pesados, utilizando diferentes sistemas de tratamiento como la oxidación química avanzada, separación por membrana, fotocatálisis oxidación y adsorción. Entre todos los métodos disponibles para el tratamiento de efluentes industriales, la adsorción sigue siendo el más método ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales debido a un bajo costo de capital, puede eliminar la mayoría de los tipos de contaminantes y facilitar la regeneración (Crini 2005; Hokkanen et al, 2013; Putro et al, 2017).

La ausencia de un modelo de a escala del diseño no permite estudiar la viabilidad de este sistema de tratamiento de aguas en el mercado colombiano, generando un estancamiento en el avance de esta oportunidad para la creación de plantas alternas que traten las aguas residuales contaminadas de las industrias en la ciudad.

III. ESTADO DEL ARTE

- Tan, L., Zhu, D., Zhou, W., Mi, W., Ma, L., & He, W. (2008). Preferring cellulose of *Eichhornia crassipes* to prepare xanthogenate to other plant materials and its adsorption properties on copper. *Bioresource technology*, 99(10), 4460-4466.
- Martinez, S & Romero, J. (2016). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. Fundación Universitaria Los Libertadores. Revista facultad de ciencias económicas de la Universidad Militar.
- Carreño-Sayago, U. (2014). Tratamientos de aguas industriales con metales pesados a través de zeolitas y sistemas de biorremediación. Revisión del estado de la cuestión. *Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 15(1), 70-78. <https://doi.org/10.19053/1900771X.3940>
- Huerta, M. D. L. R., & Soberanis, M. P. (2005). Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada.

IV. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento a escala compuesto de celulosa xantogenatode la E. Crassipes y zeolitas para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados en las curtiembres.

4.2. ESPECÍFICOS

- Caracterizar el filtro biológico.
- Realizar un estudio del comportamiento del nicho de mercado.
- Realizar una plantilla dinámica de acuerdo a la necesidad de cada curtiembre, contemplando la capacidad de adsorción de la biomasa y las características de la industria.

V. METODOLOGÍA Y MÉTODOS

Se realizó un breve estudio del nicho de mercados, mediante el cual se identificaron las principales características de los posibles consumidores, tales como producción por mes, características demográficas, geográficas y psicografía del nicho de la siguiente manera:

6.1. Demografía: Según la CAR (2018), el sector de curtiembres está compuesto principalmente en un 77% de microempresas, el 19% por pequeñas industrias, un 3% por medianas y un 1% de gran industria. De acuerdo con el censo oficial que realizó la Facultad de Economía de la Universidad Nacional señala que la mayoría de estas empresas son de carácter familiar y emplean cerca de 860 personas.

6.2. Psicografía: Las personas a cargo de las curtiembres tienden a presentarse esquivas ante la intervención de un tercero ya que suelen pensar que les van a cerrar el establecimiento, esto sucede porque son conscientes de la contaminación que generan durante sus procesos productivos y de que carecen de un sistema de eficiente que dé cumplimiento a la normatividad para la disposición los residuos y del tratamiento eficiente del agua residual contaminada por metales.

6.3. Geografía: De acuerdo a la CAR, en Colombia el sector de curtiembre está distribuido como se muestra a continuación:

Tabla 1. Curtiembres en Colombia

Ciudad	No. Curtiembres	Producción Aprox. Píeles/ mes
Cundinamarca (Villapinzón, Chocontá y Cagua)	184	46.270
Antioquia	8	53.138
Bogotá (San Benito, San Carlos, Perdomo)	300	114.625
Valle del Cauca	25	49.310

Atlántico	2	56.000
Bolívar	1	18.000
Nariño	50	9.959
Quindío	22	19.800
Risaralda	1	8.064
Norte de Santander	9	2.330
Tolima	8	700
Total	610	378.196

Fuente: CAR 2018.

Posteriormente se realizó revisión del documento de Tan et al, 2008, en donde se diseñó el filtro sobre el cual se basa este artículo y donde están determinadas capacidades y características del mismo. Así como la revisión de estudios de caso, obteniendo datos como el tamaño del caudal y las concentraciones iniciales de cromo contenidas en las aguas residuales, y de esta forma crear una plantilla dinámica que arroje las cantidades que se necesitan de cada componente, el tamaño del filtro y los costos asociados en cuanto a adquisición y mantenimiento del filtro de acuerdo a la necesidad de cada caso de curtiembre.

Según Carreño, U. (2016), para desarrollar un diseño óptimo de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas con cromo, se debe realizar una caracterización de las aguas, en función de establecer los criterios ideales para el tratamiento. La cantidad de agua por utilizar fue de menos de 25 L/día (esto es lo que produce una curtiembre normalmente en San Benito, al sur de Bogotá).

En estudio de caso realizado, una curtiembre pequeña del sur de la ciudad de Bogotá, esta curtiembre tiene un caudal de 10 litros cada dos días de agua contaminada con cromo (VI), con una concentración de 150 mg/L, el tratamiento ideal es la celulosa con xantogenato, según Tan et al (2008) esta celulosa tiene una capacidad de remover 232 mg/g de Cromo (VI), reteniendo un 90% de la concentración inicial, donde se necesitaría 20 gr de E crassipes y 15 gr de NaOH, 2 ml de Cs2 y 5 g de MgSO4. Se estimó que el costo total de la implementación es de 55 dólares y los reemplazos de la biomasa tienen un costo de 15 dólares cada mes.

En base a la información anterior se realizó una plantilla dinámica en Excel, que permite un diseño del filtro biológico a escala gracias al cálculo automático de cada uno de sus componentes, su tamaño y los costos asociados a adquisición y a mantenimiento de acuerdo a las necesidades de cada curtiembre.

Finalmente, se realizó el diseño del filtro estándar y la creación de la plantilla dinámica en Excel como se evidencia en las figuras 2, 3 y 4.

Figura 2. Diseño de sistema de tratamiento a escala

SISTEMA DE TRATAMIENTO No. 1		Panorama a escala	
CELULOSA XANTOGENATO		Datos de la curtiembre	
Características básicas de la celulosa		Caudal	10 L
Capacidad de remoción	232 mg/g	Días de consumo	2
% máximo de remoción	90%	Metal removido	Cromo (VI)
Medidas estándar del filtro para 20gr de xantogenato		Concentración inicial	150 mg/L
Celulosa xantogenato	20 gr	Cálculo de consumo	
Longitud	150 cm	Concentración total en días	1.500 mg Cr
Diámetro interno	30 cm	Celulosa requerida por 2 días	6 g
		Días de mantenimiento	7
		Celulosa final requerida	23 g
		Cantidad requerida por componente	
		E. Crassipes	23 gr
		NaOH	17 gr
		Cs2	2 ml
		MgSO4	6 gr

Fuente: Autora.

Figura 3. Medidas y costo del contenedor

Medidas del filtro	
Longitud	170 cm
Diámetro interno	34 cm
Costo del contenedor	
Fabricacion en vidrio templado	\$ 180.000

Fuente: Autora.

Figura 4. Costo de adquisición y mantenimiento

Determinación del costo

Costo por componente			Costo real
E. Crassipes	500 gr	\$ 36.000	\$ 1.629
NaOH	907 gr	\$ 115.777	\$ 2.166
Cs2	59 ml	\$ 111.599	\$ 4.280
MgSO4	500 gr	\$ 201.500	\$ 2.280

Costo del contenedor	
Fabricacion en vidrio templado	\$ 203.664

Costo total \$ 214.020
(No incluye instalación)

Costo mantenimiento \$ 70.356
Reemplazo componentes \$ 10.356
Mano obra (limpieza y recambio) \$ 60.000

VI. SISTEMA DE TRATAMIENTO

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL FILTRO

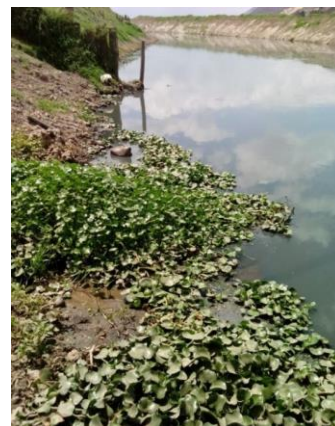
6.1.1. Celulosa Xantogenato

Es una transformación de biomasa de *E. crassipes*, desarrollada por Tan et al (2008) y utilizada por Den et al (2012) y Zhou et al (2012), este compuesto consiste en tomar la biomasa seca y molida de *E. crassipes* y adicionar hidróxido de sodio (NaOH), creando biomasa alcalina, posteriormente se esterifica con disulfuro de carbono (CS₂) y finalmente se trata con Sulfato de magnesio (MgSO₄) para preparar xantogenato de celulosa.

La *Eichhornia crassipes* es una macrófita flotante abundante en los humedales, según Martelo, J. & Lara, J. (2012) esta especie alcanza porcentajes de remoción de metales pesados como el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo desde 85 % hasta 95 %.

En la ciudad de Bogotá y el municipio de Cundinamarca se pueden apreciar muchos humedales contaminados y con malos olores donde la presencia de la *Eichhornia Crassipes* es bastante abundante.

Figura 5. Presencia de *E. Crassipes* Humedal



Fuente: Carreño (2017).

Figura 6. *Eichhornia Crassipes*



Fuente: Carreño (2017).

Las figuras 2 y 3 son fotos tomadas de un humedal en las afueras del municipio de Mosquera, Cundinamarca, en las que se puede apreciar las condiciones de contaminación del agua donde se encontraba la *Eichhornia Crassipes* debido a los vertimientos de aguas residuales sobre éste humedal, así como la abundancia de la planta.

6.1.2. Zeolitas

Las zeolitas son materiales adecuados para el tratamiento de agua con metales pesados, dada su gran capacidad de intercambio catiónico, así como su gran afinidad por este tipo de metales. Son económicas, fáciles de conseguir y se podrían adaptar a otros sistemas de tratamiento, como la construcción de filtros de zeolitas y biológicos. En este caso, las zeolitas serán utilizadas como soporte para la celulosa Xantogenato con la finalidad de aumentar el porcentaje de adsorción de Cr. (Carreño, U. 2016)

6.2 CAPACIDAD DEL FILTRO

Según Tan et al (2008) el filtro tiene una capacidad de remover 232 mg/g de Cromo (VI), reteniendo un 90% de la concentración inicial, donde se necesitaría 20 gr de *E. crassipes*, 40gr de zeolitas y 15 gr de NaOH, 2 ml de Cs2 y 5 g de MgSO4.

5. CONCLUSIONES

- La adopción de sistemas de tratamiento alterno traería al país beneficios tanto económicos como ambientales al reutilizar un recurso no renovable.
- Se deben diseñar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas de acuerdo a las necesidades y características de cada curtiembre, ya que de acuerdo a su tamaño el caudal cambia, así como sus concentraciones iniciales de metales pesados.
- Adoptar una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados como el cromo que sea eficiente, económica y además amigable con el medio ambiente aportaría a la mejora de sus procesos productivos y al desarrollo económico de la industria curtidora del país
- El sector de curtiembres no es ajeno a la adopción de medidas ambientales que garanticen el buen uso de los recursos naturales durante y después del desarrollo de sus actividades económicas.

6. REFERENCIAS

1. Tan, L., Zhu, D., Zhou, W., Mi, W., Ma, L., & He, W. (2008). Preferring cellulose of *Eichhornia crassipes* to prepare xanthogenate to other plant materials and its adsorption properties on copper. *Bioresource technology*, 99(10), 4460-4466.
2. Zhou, W., Zhu, D., Langdon, A., Li, L., Liao, S., & Tan, L. (2009). The structure characterization of cellulose xanthogenate derived from the straw of *Eichhornia crassipes*. *Bioresource technology*, 100(21), 5366-5369
3. Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., ... & Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresource technology*, 175, 594-601.
4. Yi, Z. J., Yao, J., Chen, H. L., Wang, F., Yuan, Z. M., & Liu, X. (2016). Uranium biosorption from aqueous solution onto *Eichhornia crassipes*. *Journal of environmental radioactivity*, 154, 43-51.
5. Zhou, W., Ge, X., Zhu, D., Langdon, A., Deng, L., Hua, Y., & Zhao, J. (2011). Metal adsorption by quasi cellulose xanthogenates derived from aquatic and terrestrial plant materials. *Bioresource technology*, 102(3), 3629-3631.
6. Saraswat, S., & Rai, J. P. N. (2010). Heavy metal adsorption from aqueous solution using *Eichhornia crassipes* dead biomass. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3-4), 203-206.
7. Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista latinoamericana de Microbiología* (2000) 42:131-143
8. Loayza, J. (2009) La problemática del agua y el tratamiento de aguas residuales industriales <https://www.revistavirtualpro.com/editoriales/20090301-ed.pdf> Revista Virtual Pro, Bogotá, Colombia
9. Magriotis, Z., Paulo, V. & Leal, A. (2014). Treatment through zeolites etheramines. *Applied Clay Science* 91-92, 55-62
10. Carreño-Sayago, U. (2014). Tratamientos de aguas industriales con metales pesados a través de zeolitas y sistemas de biorremediación. *Revisión del estado de la cuestión. Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 15(1), 70-78. <https://doi.org/10.19053/1900771X.3940>
11. Huerta, M. D. L. R., & Soberanis, M. P. (2005). Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada.
12. Harris, P. O. y G. J. Ramelow 1990. Binding of metal ions by particulate biomass derived from *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*. *Environ. Sci. Technol.* 24:220-228.

13. Condori L. Delgadillo M. Planta de tratamiento de aguas residuales con macrófitas para comunidades cercanas al lago titicaca. *Journal Boliviano de Ciencias*, 7(21):63–66, 2010.
14. García, J & Gutiérrez, J. (2006). Impacto ambiental generado en el proceso productivo de la empresa curtidos del oriente barrio San Benito Bogotá 2006. Universidad de San Buenaventura.
15. Martinez, S & Romero, J. (2016). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. Fundación Universitaria Los Libertadores. Revista facultad de ciencias económicas de la Universidad Militar.
16. 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 Universidad Javeriana. Bogotá D.C
17. García, J & Gutiérrez, J. (2006). Impacto ambiental generado en el proceso productivo de la empresa curtidos del oriente barrio San Benito Bogotá 2006. Universidad de San Buenaventura.