

DISEÑO, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE FITORREMEDIACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO UTILIZANDO LA EICHHORNIA CRASSIPES PARA EL TRATAMIENTO AGUAS CONTAMINADAS CON CROMO.

Uriel Fernando Carreño Sayago¹; Carlos Arturo Granada Torres²

Resumen

El sector de las curtiembres se ha convertido en un serio problema ambiental debido a la falta de alternativas para el tratamiento de las aguas de este sector. Una alternativa viable a implementar es la planta acuática macrófitas (*Eichhornia crassipes*), la cual tiene una amplia presencia en los cuerpos húmedos de Cundinamarca (Colombia), presentan una alta capacidad invasiva desarrollando un crecimiento descontrolado en humedales, lagunas entre otros, ésta planta tiene la capacidad para acumular y transformar materia orgánica y sobre todo acumular diferentes metales pesados en su morfología. En la presente investigación se diseñó y construyó una tecnología de fitorremediación para la remoción y retención de cromo de aguas contaminadas por los residuos del proceso de las curtiembres en el sector de san Benito sur de Bogotá D.C, siendo la *Eichhornia crassipes*, el agente retenedor de éstos compuestos contaminantes, donde se evidenció una posible solución económica y tecnológicamente viable para el sector industrial de curtiembres.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, biorremediación, Cromo, fitorremediación.

Abstract

Tanneries sector has become a serious environmental problem because of the lack of alternatives for water treatment in this sector. A viable alternative is to implement the (*Eichhornia crassipes*), which has a large presence in the wet bodies of Cundinamarca (Colombia), have a high capacity invasive developing a high entertainment in these aquatic systems, this plant has the capacity to accumulate and transform organic matter and especially heavy metals accumulate different in morphology. In the present investigation was designed and built a biological treatment system for the removal and retention of chromium contaminated process waste from tanneries waters, with the (*Eichhornia crassipes*), the withholding agent of these pollutant compounds, where he was evident an economical and technologically feasible solution for the tannery industry.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, bioremediation, Chrome, treatment system.

¹ Docente investigador de la Fundación universitaria los Libertadores. ufcs_02@yahoo.es

² Docente Investigador CIMAD – Universidad de Manizales

1. Introducción

Hoy en día, el mundo está enfrentando una crisis debido a la falta de agua dulce potable. Dicha escasez de agua es una consecuencia del rápido desarrollo de las industrias y la gran cantidad de agua residual de procesos industriales que se descargan a los ríos y sistemas de agua corriente. Estas aguas residuales suelen contener una gran variedad de contaminantes, muchos en forma de iones catiónicos y aniónicos, aceites y grasas, y demás residuos orgánicos con efectos nocivos sobre los ecosistemas. Generalmente, la remoción de estos contaminantes requiere de tecnologías efectivas, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de limpieza que tratan esta problemática.

El rápido crecimiento económico e industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución del aire, agua y suelo. Desde el punto de vista ambiental, el sector de la minería y las curtiembres siempre han sido catalogados como altamente contaminantes, donde sus procesos productivos generan compuestos químicos como metales pesados y desechos orgánicos que causan toxicidad e impactos ambientales negativos sobre los ecosistemas. Un agente químico es el cromo en la que su uso se ha extendido en la industria de las curtiembres, a causa de la alta calidad de cuero obtenido. Cuando las aguas residuales que contienen cromo (Cr) son vertidos al medio ambiente, se ocasiona un problema para la calidad de este último. La eliminación de cromo de las aguas residuales es obligatoria a fin de evitar la contaminación del agua de los ríos [1]; [2] y cumplir con la normatividad vigente la resolución 631 de 2015.

El cromo (Cr) es uno de los metales pesados más nocivos para el medio ambiente. Los efectos de la presencia de este metal en el agua y suelos, así como las alternativas para su remediación, han sido tema de intensiva investigación en los últimos años. Bajo condiciones oxidantes, neutrales y alcalinas, el Cr (VI) está presente como cromato o dicromato, mientras que a condiciones reductoras, la conversión del Cr (VI) a Cr(III) podría tener lugar. La contaminación por agentes inorgánicos como el cromo trae graves consecuencias tanto para el medio ambiente como para la salud de quienes lo manipulan, estudios realizados por [3], donde encontraron que las aguas de las curtiembres llevan Cromo en estado de oxidación (VI) debido a la oxidación a Cr (III) contaminando el suelo y el agua.

Otro tipo de contaminación que es evidente es de contaminación orgánica a través de los residuos de grasas y pelambre entre otros subproductos residuales del proceso de elaboración de cueros, que afecta al ecosistema del río Tunjuelito causando el fenómeno de eutroficación, estos contaminantes también causan malos olores, taponamiento de tuberías debido a la acumulación de grasas etc. En la siguiente figura se muestra el proceso productivo de una curtiembre.

Por otra parte, los ecosistemas naturales, tales como los humedales, son sistemas abundantes en nutrientes, agua y luz solar. Debido a esto es común encontrar la presencia de cierto tipo de plantas que han desarrollado adaptaciones morfológicas y bioquímicas permitiéndoles aprovechar al máximo las ventajas de estas condiciones de su entorno, las cuales han sido comúnmente denominadas “*malezas acuáticas*”. Entre estas malezas se encuentra la especie macrófita *Eichhornia crassipes*, conocida popularmente como el: “*Jacinto de Agua*”, o también “buchón de agua”, la cual tiene una amplia presencia en los cuerpos húmedos abiertos [4]; [5].

A través de esta planta se puede construir una tecnología de fitorremediación para descontaminar las aguas con presencia de metales pesados, entre ellos el cromo [6]; [7]; [8]; [9]; [10]. En los últimos años se ha demostrado que esta especie puede manipularse de manera sostenible en su ecosistema y ser usada en fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados [3]; [11]; [12]; [13], también se han diseñado modelos de tratamiento para diferentes tipos de contaminantes con buenas eficiencias en remociones de aguas contaminadas [14]; [15]; [16]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21].

La biorremediación con esta planta representa una tecnología eficiente para el tratamiento de agua contaminada y además es un tratamiento de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada [22]; [23]; [24]; [25]; [26]. En general, es una tecnología barata, simple, sustentable, compatible con el ambiente. Se ha encontrado numerosos estudios a nivel mundial donde demuestran la capacidad de esta planta para remover nutrientes, metales pesados y grandes contenidos de materia orgánica [27]; [28]; [29]; [30]; [31]; [32]; [33]. En los montajes de [1]; [7]; [13]; [34]; [35]; [16], realizaron montajes evaluando diferentes metales pesados como mercurio, aluminio entre otros, también [36]; [37]; [38]; [39], diseñaron esta tecnología para la remoción de nutrientes en humedales arrojando resultados significativos.

El objetivo principal de este proyecto fue diseñar, desarrollar y evaluar una tecnología nueva de tratamiento donde la *Eichhornia* pueda retener cromo con el fin de aportar una nueva tecnología para el sector de curtiembres.

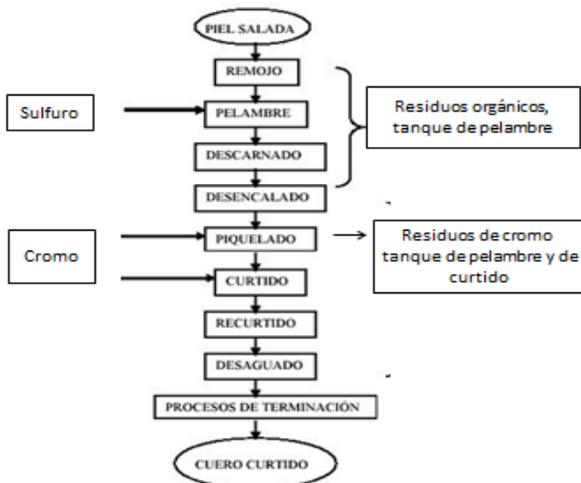
2. Metodología

La metodología presentada en esta investigación es de tipo cuantitativa. En primera instancia se procedió a caracterizar las aguas de las curtiembres estableciendo el grado de contaminación. Posterior a ello, se aisló la *Eichhornia crassipes* de un humedal a las afueras de la ciudad de Bogotá, con la finalidad de realizar el diseño y montaje del sistema de fitorremediación con la *Eichhornia* para tratar las aguas residuales contaminadas con residuos orgánicos y con cromo, y de ésta manera dar paso a la evaluación de la eficacia de ésta planta removiendo del agua éste metal pesado.

2.1 Caracterización las aguas residuales de las curtiembres de san Benito.

En la actualidad no se habían caracterizado las aguas residuales de estas curtiembres, desconociendo la cantidad exacta de carga orgánica y la contaminación por químicos vertidos al alcantarillado. Se realizaron diferentes visitas al sector de las curtiembres para diagnosticar la problemática. En el siguiente figura 1 se presenta el proceso productivo de una curtiembre convencional.

Figura 1 Proceso productivo en las curtiembres



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a caracterizar las aguas de las curtiembres estableciendo la cuantificación de la contaminación por cromo y residuos orgánicos. En la siguiente tabla 1 se muestran los parámetros realizados por una empresa acreditada, se realizaron las pruebas a dos tanques, uno de curtido y el otro de los residuos de pelambre, donde llegan las aguas contaminadas con cromo. Estos vertimientos se hacen a diario en ésta curtiembre.

Tabla 1 Caracterización de los parámetros de calidad

Parámetro	Unidades	Tanque recurtido	Tanque de pelambre	Límite permitido Resolución 631 de 2015
Cromo	mg/L	60	1407	0.5
DBO	mg/L	990	3210	800
DQO	mg/L	1245	3664	1500
Grasas	mg/L	149	1245	100
Coliformes Fecales	NMP/100	$2.5 \cdot 10^6$	$1.1 \cdot 10^8$	-
Coliformes Totales	NMP/100	$6.5 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^8$	-

Como se puede observar en la tabla anterior, la cantidad de cromo que se vierte al alcantarillado en el tanque de pelambre a diario es elevada; más de 1400 mg/L de cromo es muy alta debido a que la normatividad indica que debe ser de menos de 1 mg/L, ésta normatividad es la resolución 631 de 2015 *“Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.”*. En cuanto a DBO y DQO son valores también muy preocupantes debido a que se vierte más de lo esperado 800 mg/L y 1500 mg/L respectivamente, y no hay control sobre estos vertimientos. Estos índices tan elevados son producto de las grasas, sangre entre otros.

Se puede apreciar que el vertimiento de grasas es muy alto, situación que es compleja debido a los constantes taponamientos de la alcantarilla que se viven en el sector causando inundaciones de aguas negras. La presencia de Coliformes totales y fecales es producto de que estos tanques están conectados a los baños de la empresa.

2.2 Aislamiento de la *Eichhornia crassipes* de diferentes humedales

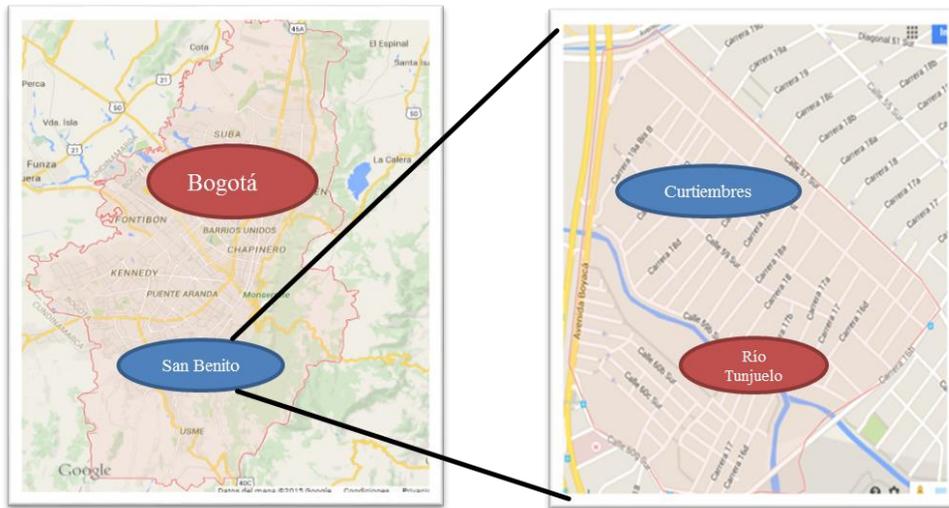
La *Eichhornia crassipes* se identificó en las aguas contaminadas a las afueras del municipio de Mosquera, Cundinamarca. En las siguientes fotografías se muestra donde se encontró la *Eichhornia crassipes*. Ubicación en coordenadas: 4.682995, -74.256673.

2.3 Diseño de una tecnología de fitorremediación a escala piloto utilizando la *Eichhornia crassipes* de aguas contaminadas procedentes de las curtiembres de San Benito Sur de Bogotá.

La ubicación de la problemática es en el sur de Bogotá, barrio san Benito. En las figuras 2 y 3 muestra a Bogotá y el sector de curtiembres.

Figura 2 ampliada de Bogotá.

Figura 3 Sector de San Benito



(Fuente: Google Map, 2015)

Después del aislamiento de la *Eichhornia crassipes* se llevó al laboratorio, para el montaje de los experimentos. El diseño propuesto consistió en montar esta tecnología de tratamiento por triplicado, con un 20 % de agua de curtiembres, llamadas 2a, 2b y 2c, y el restante se complementó con agua destilada. Se realizó un montaje de un blanco con agua natural del humedal para compararlas con las del experimento. Las aguas de muestra de las curtiembres se recogieron en una empresa en el barrio san Benito al sur de Bogotá. En la siguiente tabla 2 se muestra el resumen de los montajes.

Tabla 2 Porcentajes de aguas destiladas y agua de curtiembre

	Agua de curtiembre (%)	Agua destilada (%)
Tratamiento 2a 2b y 2c.	20	80
Blanco 100 % agua del humedal original	0	0

El diseño de cada tecnología de tratamiento a escala piloto de laboratorio consistió en adaptar un recipiente de plástico resistente con las siguientes dimensiones representadas en la siguiente figura 4.

Figura 4 diseño de la tecnología de tratamiento con sus dimensiones



Se llevaron dos plantas de *Eichhornia Crassipes* por cada tratamiento, pesando 180 gr en cada uno de estos. Como se pudo observar en la figura anterior las dimensiones de esta tecnología de tratamiento es de largo 40 cm, de alto 17.5 cm y de ancho 17.5 cm, donde para el experimento se contó con 11.5 Litros de agua. Este diseño es a escala piloto de laboratorio y tuvo 180 gramos de *Eichhornia crassipes*, que es el equivalente a dos plantas.

2.4 Evaluación de la tecnología de tratamiento a escala laboratorio de fitorremediación utilizando la *Eichhornia crassipes*.

La evaluación propuesta de esta tecnología de tratamiento duró aproximadamente 1 mes. En el experimento de [20] también duro el montaje 30 días. Se midió el cromo hexavalente a través de la técnica de espectrofotometría. A continuación se presenta en la tabla 3, las muestras necesarias para evaluar esta tecnología de tratamiento.

Tabla 3. Muestreo de calidad del agua

	DBO	Cromo
Tratamiento 2a 2b y 2c.	Antes y al final	Cada dos días
Blanco		

Las muestras se tomaron al inicio de Cromo y DBO. Durante el experimento se midió cada dos días el grado de concentración de cromo en el agua, al final del experimento se midió la DBO. También se midió en la plantas el grado de acumulación de cromo, donde se llevaron los 180 gr de las plantas a un horno y posteriormente se separó el cromo absorbido y se pesó. Los resultados arrojaron cantidad de cromo en mg sobre los 180 gr de muestra.

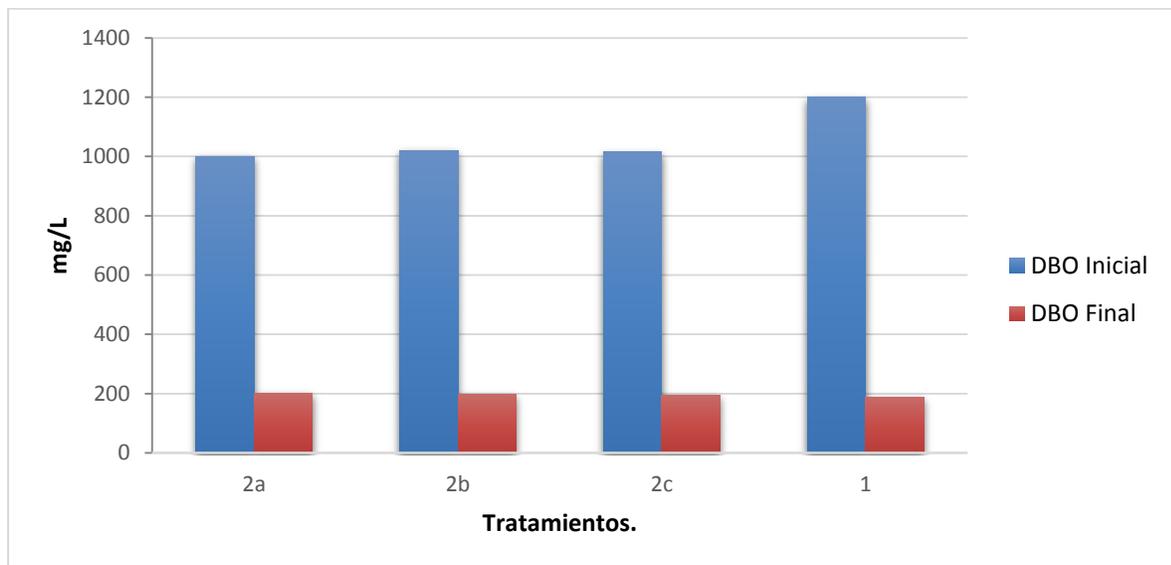
3. Resultados

La evaluación de estos sistemas de tratamiento de fitorremediación se realizó determinando el pH, los mg/L de cromo cada dos días en el agua, y la DBO antes y después del tratamiento. También se comprobó la cantidad de cromo encontrado en diferentes tejidos vegetales de la *Eichhornia*, especialmente del tallo y raíz. Durante la representación de los resultados se compararon con diferentes investigaciones. Se realizaron tres tratamientos parecidos en donde la diferencia de cada uno de ellos fue insignificante, también se comprobó la confiabilidad de estos sistemas de tratamiento a través de las distribución de probabilidad.

3.1 Pruebas de remoción de DBO

Se realizaron dos monitoreos de calidad del agua con la DBO de cada uno de los tratamientos. Las pruebas eran en el día 0 y al cabo de 20 días. En la figura 5 se muestra cada uno de estos con las concentraciones iniciales y finales de DBO en mg/L.

Figura 5. Remociones de DBO en cada uno de los tratamientos.



En los tres tratamientos arrojaron resultados muy parecidos, en los tratamientos se alcanzaron remociones del 80 %, el blanco alcanzo remociones por encima del 83 %. Los aportes de nutrientes a las plantas y la oxigenación que ellas brindan al agua contribuyen a la disminución de la DBO en el agua de las curtiembres. En él pueden apreciar que los tratamientos (2) estaban alrededor de 1000 (mg/L) en DBO y el blanco (1) estaba alrededor de 1200 (mg/L). La experimentación empezó con carencia de oxígeno en el agua representada con una DBO muy alta pese a las diluciones con agua destilada. Pasado el tratamiento se pudo apreciar unas disminuciones representativas y en los tratamientos (1) y (2) bajo la DBO a 200 (mg/L).

3.2 Evaluación del Cromo

Para las evaluaciones de esta tecnología de tratamiento se midió las concentraciones en el agua de cromo en mg/L al inicio y posteriormente cada dos días. Se puede apreciar en la figura 6 donde las concentraciones estaban alrededor de los 612 mg/L de cromo, esta muestra se tomó al inicio, en el día 0 el día del montaje y en la figura 7 se puede apreciar que tan solo dos días después hubo una remoción de 33%. Las remociones como se pueden apreciar hay una continua disminución, estabilizándose después de 24 días de tratamiento.

Figura 6. Concentraciones de cromo (612 mg/L) iniciales

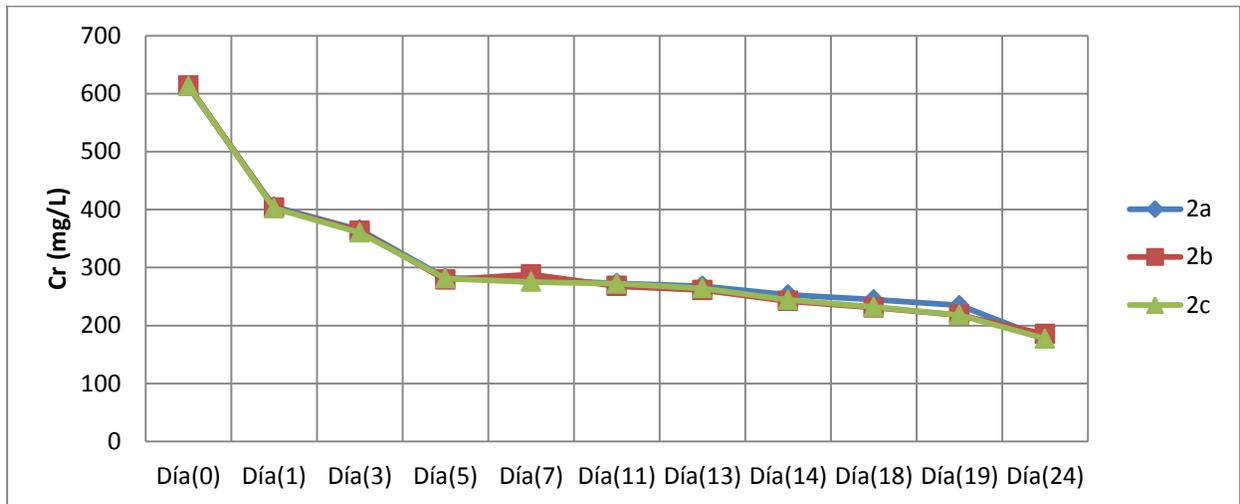
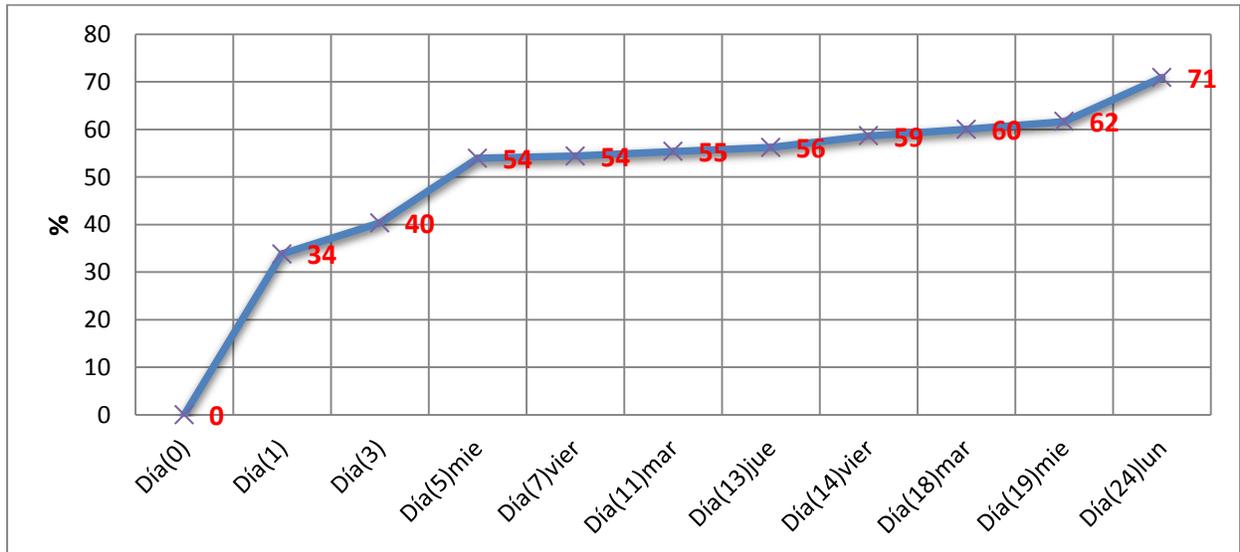


Figura 7. Concentraciones de cromo remociones % en concentraciones iniciales de (612 mg/L).



Como lo muestran las gráficas 2 y 3 hubo unas remociones de 34% iniciales en el día 1, después se estabilizó a varios días sobre el 50% siendo al final unas remociones de más del 70% en estos tratamientos del 20% de aguas de curtiembres con 80% de agua destilada. Las tres pruebas arrojaron un comportamiento similar durante todo el proceso y se obtuvieron remociones por encima del 70%.

3.3 Balance de Masa del cromo

Al final del proceso de tratamiento con la *Eichhornia crassipes*, se llevaron las plantas acuáticas donde se les realizó pruebas de concentración de cromo en su estructura vegetal. Estos resultados muestran mg de cromo sobre 180 gr de muestra de *Eichhornia crassipes* que se utilizaron en los diferentes experimentos.

Se puede apreciar en la siguiente Tabla 4 donde hay concentraciones alrededor de 4200 (mg cromo /muestra) en los tres tratamientos encontrados en su estructura vegetal. Hubo remociones debido a que el cromo quedó retenido en la estructura vegetal de la planta acuática *Eichhornia crassipes*. El porqué de esta retención y bajo qué compuesto orgánico de esta planta como la lignina, celulosa o hemicelulosa se pudo quedar adherido el cromo es objeto de continuas investigaciones en este momento.

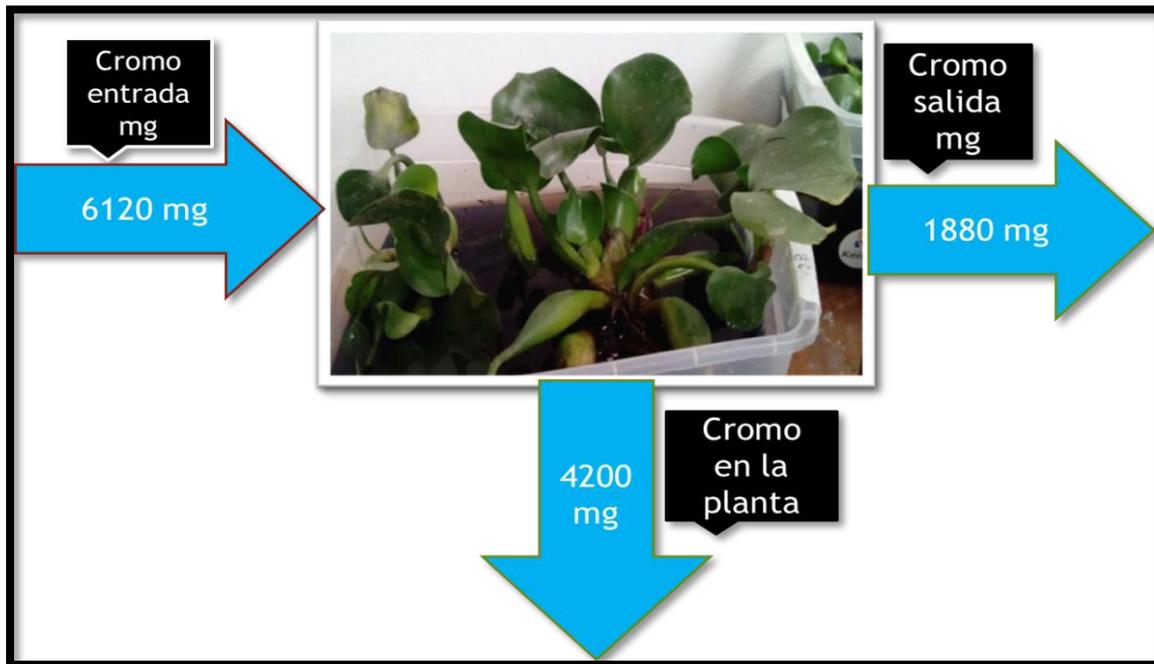
En la siguiente tabla 4 se muestra un balance general de cada uno de los experimentos sobre las concentraciones de cromo iniciales, junto con las concentraciones en la planta y las concentraciones de cromo finales.

Tabla 4 Balance general de cromo en cada Tratamiento.

Experimento	Cromo inicial (mg)	Cromo Final (mg)	Cromo en la <i>Eichhornia crassipes</i> (mg de cromo en la muestra)	Diferencias
2a	6120	1880	4200	40
2b	6120	1882	4255	-17
2c	6122	1870	4250	2

En este balance general se tuvieron en cuenta las concentraciones iniciales, finales y las encontradas en *la Eichhornia crassipes*. En el experimento se contó con 10 Litros, una combinación de agua contaminada y agua destilada. Al inicio se contó con 612 mg de cromo sobre litro de agua, multiplicando 612 mg/L* 10 Litros, se determina la entrada de cromo al sistema de tratamiento, donde fueron alrededor de 6.120 mg de cromo. Realizando el mismo procedimiento se determinó que aun quedaron alrededor de 1880 mg de cromo en el total del agua. Las diferencias son casi despreciables y se puede atribuir al grado de incertidumbre de las técnicas utilizadas.

Figura 8 Balance de cromo en el experimento 2



Como se ve en la figura anterior hubo unas remociones importantes de cromo, en la que la planta *Eichhornia crassipes* retuvo una gran cantidad en sus raíces y hojas, un 70% del cromo presente en el agua fue removido. Se podría potencializar este experimento colocando otra planta para continuar con las remociones hasta llegar a un nivel permisible por la autoridad ambiental.

Recomendaciones y conclusiones

Se propone llevarlo a una escala mayor y por diferentes tratamientos escalonados, nada más se sature una planta cambiarla por otra hasta lograr mayores rendimientos.

Otra propuesta para conseguir mejores resultados es antes del proceso de tratamiento colocar un filtro biológico, con material vegetal de la *Eichhornia crassipes*, en experimentos realizador por [27]; [50];[51];[52], se podría eliminar antes del proceso de tratamiento grandes concentraciones de cromo u otros metales pesados.

La fitorremediación a través de la *Eichhornia crassipes* es una alternativa para usarse como retenedor de metales pesados y materia orgánica debido a su alta capacidad para remover estos contaminantes del agua. Es fácil de usar ya que esta planta es muy común en el sector y sobre todo muy económico.

Con las altas concentraciones de cromo en las curtiembres del sur de Bogotá se hace indispensable utilizar varias plantas acuáticas en el sistema de tratamiento debido a la alta saturación en la acumulación de cromo. En esta investigación se evaluó el comportamiento de la planta con estas altas concentraciones y se concluye que para optimizar el proceso se deben alternar para conseguir remociones por encima del 90%.

Los aportes de nutrientes a las plantas y la adsorción de fuentes de carbono contribuyen a la disminución de la DBO. Las aguas de las curtiembres están cargadas con residuos orgánicos elevando la DQO y DBO, lo que hace que esta

tecnología de tratamiento sea completamente viable para su montaje en el tratamiento de las aguas contaminadas de las curtiembres.

Referencias Bibliográficas

- [1] Velarde H; Zavaleta A; Aguilar Q.(2013). Estudio de la absorción del ion cromo vi con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Universidad Nacional de Trujillo. 2 encuentro de investigadores.
- [2] Onyanchaa D.; Mavurab J.; Ngilac C. (2008). Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algae biosorbents, *Spirogyra condensata* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*.
- [3] Padma S.; Dhara B. (2008). Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by *Trichoderma* species. Padmapriya, G., & Murugesan, A. G. (2015). Biosorption of copper ions using rhizoplane bacterial isolates isolated from *Eichhornia crassipes* ((Mart.) solms with kinetic studies. *Desalination and Water Treatment*, 53(13), 3513-3520.
- [4] Balasubramaniana,K.Arunachalama,A.K. Dasb,Arunachalama(2012).Decomposition and nutrient release of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Under different trophic conditions in wetlands of eastern Himalayan foothills.*Ecological Engineering* 2012.
- [5] Anjanabha, P. Kumar. (2010). Water hyacinth as a potential biofuel crop, *EJEAFChe* 9:1, 112-122.
- [6] Zimmels, F. Malkovskaja. (2005).Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management* (Impact Factor: 3.19).
- [7] Módenes, A. N., Espinoza-Quiñones, F. R., Trigueros, D. E., Lavarda, F. L., Colombo, A., & Mora, N. D. (2011). Kinetic and equilibrium adsorption of Cu (II) and (II) ions on *Eichhornia crassipes* in single and binary systems.*Chemical Engineering Journal*, 168(1), 44-51.
- [8] Kasturiarachchi, JC. (2014).Removal of nutrients (N and P) and heavy metals (Fe, Al, Mn and Ni) from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) under different nutritional conditions.
- [9] Alvarado A, Guédez A, Merú. (2008). Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*). *International Journal of Phytoremediation*.Volume 16, Issue 12.
- [10] Borker, A. R., Mane, A. V., Saratale, G. D., & Pathade, G. R. (2013). Phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* for the treatment of cadmium in relation with biochemical and water parameters. *Emir J Food Agric*,25(6), 443-456.
- [11] Villamagna, B.R. Murphy. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth: a review, *Freshwater Biology*, 55, 282-298.
- [12] Brima, P. I. Haris(2014). Arsenic Removal from Drinking Water using Different Biomaterials and Evaluation of a Phytotechnology Based Filter, *Int Res. Environment Sci.*, 3:7, 39 – 44.
- [13] Gandhimathi, R., Ramesh, S. T., Arun, V. M., & Nidheesh, P. V. (2013). Biosorption of Cu (II) and Zn (II) ions from aqueous solution by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *International Journal of Environment and Waste Management*, 11(4), 365-386.

- [14] Higuera O; Arroyave J; Flórez L. (2008). Diseño De Un Biofiltro Para Reducir El Índice De Contaminación Por Cromo Generado En Las Industrias De Curtido De Cueros. Nro. 160, pp. 107-119.
- [15] Gopal, B., 1987. Aquatic Plant Studies 1. Water Hyacinth. Elsevier Publishing, New York, New York, USA.
- [16] Epstein P. (2012). Weeds bring disease to the east African waterways. *Lancet*. Volume 351, No. 9102, p577, 21.
- [17] Komy, Z. R., Abdelraheem, W. H., & Ismail, N. M. (2013). Biosorption of Cu²⁺ by *Eichhornia crassipes* : physicochemical characterization, biosorption modeling and mechanism. *Journal of King Saud University-Science*, 25(1), 47-56.
- [18] Xiaosen Li, Songlin Liua, Zhongyuan N, Diannan Lua, Zheng Liu. (2013). "Adsorption, concentration, and recovery of aqueous heavy metal ions with the root powder of *Eichhornia crassipes* " *Ecological Engineering*. Volume 60, November 2013, Pages 160–166.
- [19] Gupta, A., & Balomajumder, C. (2015). Removal of Cr (VI) and phenol using water hyacinth from single and binary solution in the artificial photosynthesis chamber. *Journal of Water Process Engineering*, 7, 74-82.
- [20] Hadad, H. R., Maine, M. A., Mufarrege, M. M., Del Sastre, M. V., & Di Luca, G. A. (2011). Bioaccumulation kinetics and toxic effects of Cr, Ni and Zn on *Eichhornia crassipes* . *Journal of hazardous materials*, 190(1), 1016-1022.
- [21] Islam, M. S., Wahid-Uz-Zaman, M., & Rahman, M. M. (2013). Phytoaccumulation of Arsenic Contaminated Soils by *Eichhornia crassipes* L., *Echinochloa crusgalli* L. and *Monochoria hastata* L. in Bangladesh. *International Journal of Environmental Protection*, 3(4), 17.
- [22] Gómez, H; Pinzón G. (2012). Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque la florida, por fitorremediación usando buchón de agua. Tesis de especialización Universidad Militar.
- [23] Vásquez B. (2012). El tratamiento de los desechos líquidos de la zona de tintura en las flores para la exportación con *Eichhornia crassipes* (Buchón de Agua). *Revista Lasallista de Investigación*; Julio - Diciembre de 2012 Vol.1, No. 2.
- [24] Lenka M, Kamal K. Panda, Brahma B. (1990). Studies on the ability of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to bioconcentrate and biomonitor aquatic mercury. *Environmental Pollution* | Vol 66, Iss1, Pgs 1-101.
- [25] Li, Q., Chen, B., Lin, P., Zhou, J., Zhan, J., Shen, Q., & Pan, X. (2014). Adsorption of heavy metal from aqueous solution by dehydrated root powder of Long-root *Eichhornia crassipes* . *International Journal of Phytoremediation*, (just-accepted), 00-00.
- [26] Martínez, C; Torres M, García Cruz. (2013). Evaluación de la cinética de adsorción de Zn²⁺ y Cd²⁺ a partir de soluciones unitarias y binarias por raíces de *Eichhornia crassipes* y *typha latifolia*. Vol. 4, N°. 2, 2013, págs. 1-14
- [27] Chisutia W; Mmari O. (2014). Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions Using Roots of *Eichhornia crassipes* : Kinetic and Equilibrium Studies. *Energy Procedia*. Volume 50, 2014, Pages 862–869.

- [28] Mohanty, K., Jha, M., Meikap, B. C., & Biswas, M. N. (2006). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes* . *Chemical Engineering Journal*, 117(1), 717.
- [29] Mohammed, A. K., Ali, S. A., Najem, A. M., & Kassim, K. (2013). Effect of Some Factors on Biosorption of Lead by Dried Leaves of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol*, 17(2), 72-78.
- [30] Xia H, Xiangjuan M. (2006). La fitorremediación de ethion por el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) del agua.
- [31] Swain, G., Adhikari, S., & Mohanty, P. (2014). Phytoremediation of Copper and Cadmium from Water Using Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes* . *International Journal of Agricultural Science and Technology*.
- [32] Sotolu, A. O. (2013). Management and Utilization of Weed: Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for Improved Aquatic Resources. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 8(1), 1-8.
- [33] Zanaty R. Komy, Wael H. Abdelraheem , Nabawia M. Ismail (2013). Biosorption of Cu²⁺ by *Eichhornia crassipes* : Physicochemical characterization, biosorption modeling and mechanism Chemistry Department, Faculty of Science, Sohag University, Sohag 82524, Egypt
- [34] Kumar, N., Baudhdh, K., Dwivedi, N., Barman, S. C., & Singh, D. P. (2012). Accumulation of metals in selected macrophytes grown in mixture of drain water and tannery effluent and their phytoremediation potential. *Journal of Environmental Biology*, 33(5), 923.
- [35] Chaturanga, P. D., Priyantha, N., Iqbal, S. S., & Iqbal, M. M. (2013). Biosorption of Cr (III) and Cr (VI) species from aqueous solution by *Cabomba caroliniana*: kinetic and equilibrium study. *Environmental earth sciences*, 70(2), 661-671.
- [36] Sung, K., Lee, G. J., & Munster, C. (2015). Effects of *Eichhornia crassipes* and *Ceratophyllum demersum* on soil and water environments and nutrient removal in wetland microcosms. *International journal of phytoremediation*, (just-accepted), 00-00.
- [37] Ndimele, P. E., Kumolu-Johnson, C. A., Chukwuka, K. S., Ndimele, C. C., Ayorinde, O. A., & Adaramoye, O. R. (2014). Phytoremediation of Iron (Fe) and Copper (Cu) by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *Trends in Applied Sciences Research*, 9(9), 485.
- [38] Bais, S. S., Lawrence, K., & Nigam, V. (2015). ANALYSIS OF HEAVY METALS REMOVAL BY *EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS.
- [39] Gebregiorgis, F. Y., Struik, P. C., Lantinga, E. A., & Taye, T. (2013). Joint use of insects and fungal pathogens in the management of waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*): Perspectives for Ethiopia. *Journal of Aquatic Plant Management*, 51, 109-121.
- [40] Kanagaraj J.; Chandra B, Mandal B. (2008). Recovery and reuse of chromium from chrome tanning waste water aiming towards zero discharge of pollution.
- [41] Hossain R, Chowdhury MK, Yeasmin S, Mozammel. (2010). Production of ethanol using yeast isolates on water hyacinth and azolla. *Bangladesh J. International Science Index*. Vol 7. No 1.[70] Kumar A; Ghosh S.(2009). Bioconversion of lignocellulosic fraction of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to ethanol by *Pichia stipites*.

- [42] Magdum, S.M. More, A.A. Nadaf (2012). Biochemical conversion of acid pretreatment water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to alcohol using *Pichia stipitis* NCIM 3497, *International Journal of advanced biotechnology and research*, 3:2, 585 – 590.
- [43] Menon, M. Rao.(2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept, *Progress in Energy and Combustion Science.*, 38, pp. 522-550.
- [44] Mishima D; Kuniki M; Sei B; Soda; Ike M; Fujita M. (2008). Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Bioreour Tecnhol.* 99;2495-2500.
- [45] Chuang YS, Lay CH, Sen B, Chen CC, Gopalakrishnan K, Wu JH, (2012) . Biohydrogen and biomethane from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *International Journal of Hydrogen Energy.* Volume 36, Issue 21, October 2011, Pages 14195–14203.
- [46] Lay, B. Sen, C.C. Chen, J.H. Wu, S.C. Lee, C.Y. Lin.(2013). Co-fermentation of water hycianth and beverage wastewater in powder and pellet form for hydrogen production, *Bioresource Technology*, 135, 610-615.
- [47] Nath K, D. Das, (2004). Biohydrogen production as a potential energy resource – Present state-of-art, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 63,729 – 738, (2004).
- [48] Yeong-Song Chuang , Chyi-How Lay , Biswarup Sen , Chin-Chao Chen Gopalakrishnan Kumar Jou-Hsien Wu , Chih-Shan Lin , Chiu-Yue Lin. (2014). Corrigendum to “Biohydrogen and biomethane from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) fermentation: Effects of substrate concentration and incubation temperature”.
- [49] Saraswat J.(2010). Heavy metal adsorption from aqueous solution using *Eichhornia crassipes* dead biomass. *International Journal of Mineral Processing* Volume 94, Issues 3–4, 28 April 2010, Pages 203–206