



MODELO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE

MODEL OF A TREATMENT SYSTEM FOR EFFLUENTS FROM THE TANNERY INDUSTRY

Hugo Apaza-Aquino¹, Edgar Daniel Carrillo Monteagudo, Danery Katherine Castilla Colpaert, Froilan Rodolfo Huaraya Chambi

¹Asociación de Investigación Científica BIOS, Urb. San José B-10-Umacollo, Arequipa, Perú,
hapaza89@gmail.com

RESUMEN

La industria de la curtiembre genera aguas residuales con alta carga contaminante si estos son desechados sin previo tratamiento alguno, afecta severamente a los distintos compartimientos ambientales. Se estudió la eficiencia de un modelo de sistema de tratamiento a escala para tratar los efluentes de la curtiembre. Se diseñó, construyó y evaluó un sistema que comprende de 4 etapas principales siendo estas: sedimentación, filtración, electrocoagulación y finalmente el tratamiento con un biofiltro a base de la biomasa de los hongos de *Aspergillus niger* y *Rhizopus sp*; se trabajó con una muestra compuesta por las etapas de lavado, remojo, pelambre, curtido, desencale y engrase de una curtiembre; se monitoreó antes y después del tratamiento los parámetros fisicoquímicos como la DBO₅, DQO, sulfatos y cromo. Se obtuvo una remoción de DQO en 83,33 %, en cuando a la DBO₅ se redujo en 66,43 % y la concentración final del cromo fue de 7,786 ppm, lo que representa una reducción del 84 %. Existen diversas tecnologías que se emplean para tratar efluentes industriales, pero el presente modelo desarrollado es una alternativa para la remoción de cromo y DQO.

Palabras Clave: Cromo, biofiltros, electrocoagulación, *Aspergillus niger*, *Rhizopus sp*.

ABSTRACT

The tannery industry generates wastewater with a high pollutant load if these are discarded without prior treatment, severely affecting the different environmental compartments. The efficiency of a scale treatment system model to treat tannery effluents was studied. A system comprising 4 main stages was designed, built and evaluated, these being: sedimentation, filtration, electrocoagulation and finally treatment with a biofilter based on the biomass of the fungi of *Aspergillus niger* and *Rhizopus sp*; we worked with a sample made up of the washing, soaking, peeling, tanning, delimbing and greasing stages of a tannery; Physicochemical parameters such as BOD₅, COD, sulfates and chromium were monitored before and after treatment. A COD removal was obtained in 83.33 %, while in BOD₅ it was reduced in 66.43 % and the final chromium concentration was 7.786 ppm, which represents a reduction of 84 %. There are various technologies that are used to treat industrial effluents, but the present developed model is an alternative for the removal of chromium and COD.

Key Word: Chromium, biofilters, electrocoagulation, *Aspergillus niger*, *Rhizopus sp*.

*Autor para correspondencia: hapaza89@gmail.com



INTRODUCCIÓN

Las diversas actividades antropogénicas generan contaminación directamente o indirectamente; una de las industrias que genera alta contaminación ambiental es la industria de la curtiembre (Carreño 2016; Sanjay *et al.* 2020). La conversión del cuero crudo en cuero requiere varias operaciones químicas y mecánicas, en la cual se emplean diversos químicos como ácidos, álcalis, sales de cromo, taninos, solventes, surfactantes, curtientes naturales o sintéticos, aceites sulfonados y sales (Doble & Kumar, 2005; Quijano *et al.* 2015). En el proceso del curtido se emplea aproximadamente 500 kilos de productos químicos para procesar una tonelada de cuero crudo, se calcula que un 85 % de estos no se incorporan en el cuero acabado (Lazo 2017).

La industria de la curtiembre durante su proceso genera una alta carga contaminante por residuos líquidos y sólidos (Cuesta-parra *et al.* 2018; Ferro-Rodríguez *et al.* 2019; Numpaque & Viteri 2016), se caracterizan por las altas concentraciones de contaminantes como el cromo, sulfuros, entre otros (Rosales *et al.* 2018) y los efluentes que se genera en la industria de la curtiembre se presentan una alta DQO. En los residuos que genera esta industria está presente el cromo, su desecho al medio ambiente causa contaminación del suelo y agua (Sanjay *et al.* 2020), la exposición a compuestos de Cr (VI) produce un alto riesgo de carcinomas (Langård & Costa 2015) y enfermedades como el cáncer pueden ser inducidos por exposición a los contaminantes que se produce en la industria de curtiembres (Quijano *et al.* 2015).

En Perú en ciudades como Arequipa, Trujillo y Lima se concentra gran cantidad de curtiembres, en Arequipa en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS) se encuentran curtiembres cuyos efluentes son desechados sin tratamiento a canales que se dirigen a la quebrada de Añashuayco (Zapana 2018), afectando el suelo por donde discurre (Lazo 2017). Por lo mencionado es necesario realizar un tratamiento a los residuos de la industria de la curtiembre antes de su disposición final.

En la actualidad existen diversas tecnologías para disminuir los contaminantes presentes en los efluentes de la curtiembre, tales como: la precipitación química con CaO y Ca(OH)₂ que remueve diversos contaminantes entre ellos el Cr (Reyes-Serrano *et al.* 2020); tecnología de separación por membrana (Mohammed & Sahu 2019); la biorremediación, ya sea empleando microalgas como *Scenedesmus sp* que tiene capacidad de utilizar los compuestos inorgánicos y acumular metales (Rosales *et al.* 2018), empleando biomasa fungal que tiene propiedades para remover metales pesados tales como cromo entre los hongos sobresalen: *Penicillium* (Zapana 2018), *Rhizopus* (Preetha & Viruthagiri 2007), *Aspergillus sp.* (Congeevaram *et al.* 2007), los microorganismos juegan un papel importante en la biorremediación de suelos y aguas contaminados con metales pesados (Congeevaram *et al.* 2007); biofiltros a base de residuos agroindustriales (Dávila *et al.* 2017); entre los sistemas de mayor efectividad se encuentra la fitorremediación, por ejemplo el Jacinto de Agua (*Eichornia crassipes*) tiene capacidad de acumular diferentes metales pesados (Carreño 2016). Como una alternativa que cada vez toma más fuerza es la

electrocoagulación, con esta técnica se pueden tratar aguas residuales con alta carga orgánica (Apaza 2019).

En la electrocoagulación los cationes metálicos se liberan al agua a través de la disolución de electrodos metálicos, en simultaneo se dan reacciones secundarias que ayudan a eliminar la carga contaminante (Nidheesh *et al.* 2020). La electrocoagulación puede reducir la DQO (Meas *et al.* 2010) y eliminar efectivamente el cromo hexavalente de las aguas residuales (Cheballah *et al.* 2015).

Debido a la alta contaminación producida por las curtiembres, es importante tratar los residuos que se generan en esta. El presente estudio tiene por objetivo principal determinar la eficiencia del modelo de sistema de tratamiento escala en el tratamiento de los efluentes de la industria de la curtiembre, mediante la evaluación de los parámetros de DQO, DBO₅, sulfatos y cromo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito o lugar de estudio: Caracterización fisicoquímica de las muestras

Se obtuvo muestras de la poza de sedimentación de efluentes de una curtiembre, ubicada en el parque industrial Rio Seco del distrito de Cerro Colorado de la provincia de Arequipa- Perú; correspondiente a las principales etapas de la curtiembre siendo estas: lavado, remojo, pelambre, desengale, curtido y engrase. Se realizó la caracterización fisicoquímica a las muestras del antes y después del tratamiento, determinándose los parámetros de DBO₅(método prueba de DBO de 5 días), DQO (método colorimétrico, reflujo cerrado), dureza total como CaCO₃ (método volumétrico con EDTA), sulfatos (método turbidimétrico), pH (Método electrométrico), turbidez (método nefelométrico), conductividad (método de laboratorio), oxígeno disuelto (método de electrodo de membrana), metales totales(método de análisis por Plasma de Acoplamiento Inductivo).

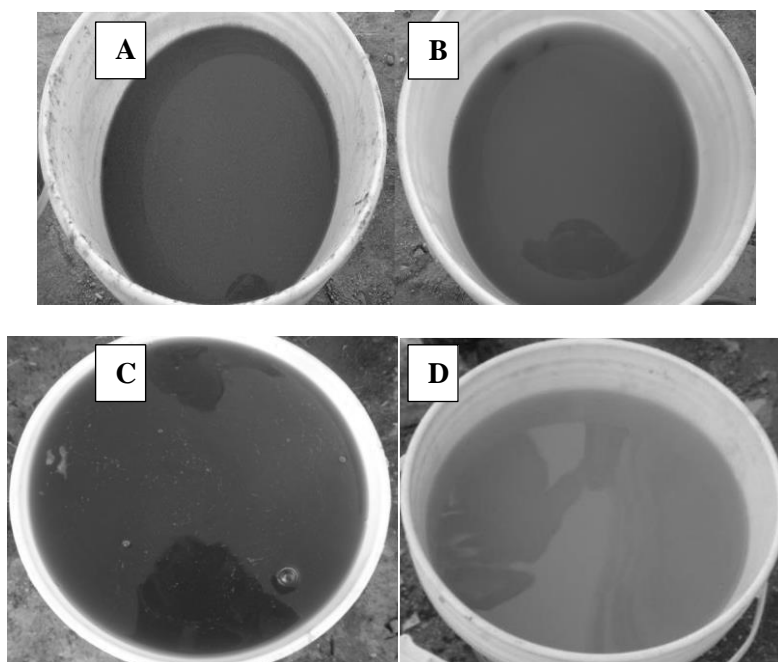


Figura 1. Muestras de los procesos de la curtiembre. (A) pelambre, (B) remojo, (C) lavado y (D) desencale.

Descripción de métodos: Sistema de tratamiento

Dada la complejidad para tratar las muestras de la curtiembre debido a su composición con metales pesados, carga orgánica, entre otros. Se diseñó un sistema escala el cual consta de 4 etapas principales con la finalidad de que cada etapa remueva distinta carga contaminante. La primera etapa consiste en una sedimentación, para la retención y consecuente remoción de sólidos de mayor tamaño: pelos, restos de piel, membranas, entre otros. La segunda etapa consistió de una filtración a base de piedra pómez y grava de distintos tamaños, para la retención de partículas menores y reducir la carga contaminante. La tercera etapa consistió en un proceso de electrocoagulación, para lo cual se construyó un reactor de electrocoagulación, la cual se operó a 20 amperios y 20 voltios por un periodo de 15 minutos, esta etapa con el objetivo de remover toda la carga orgánica que aún queda en la muestra y también para la remoción de compuestos químicos. La cuarta etapa consistió en un biofiltro empaquetado con los micelios de los hongos *Aspergillus niger* y *Rhizopus sp*; la biomasa fungal se cultivó en el medio de cultivo caldo papa Dextrosa, en esta etapa se espera reducir los metales pesados por la capacidad que tienen los hongos para captar y remover metales altamente contaminantes como Cr, Pb, Cd, entre otros. Para el ensayo en el sistema se realizó con un consorcio de las muestras simples de las etapas de lavado, remojo, pelambre, curtido, desencale y engrase (Figura 2).



Figura 2. Cultivo de hongos *Aspergillus niger* y *Rhizopus sp* en medio de cultivo caldo papa Dextrosa

Durante todo el proceso se realizó la toma de muestras en 4 puntos fijos. El primer muestreo fue antes de iniciar el proceso; el segundo muestreo fue después del proceso de sedimentación y filtración; el tercer muestreo fue después del proceso de electrocoagulación y el cuarto muestro fue después del biofiltro. Se realizó una comparación del antes y después del sistema de tratamiento de los efluentes de la curtiembre mediante los parámetros de: DBO₅, DQO, sulfatos, dureza total y los metales totales (Figura 3).

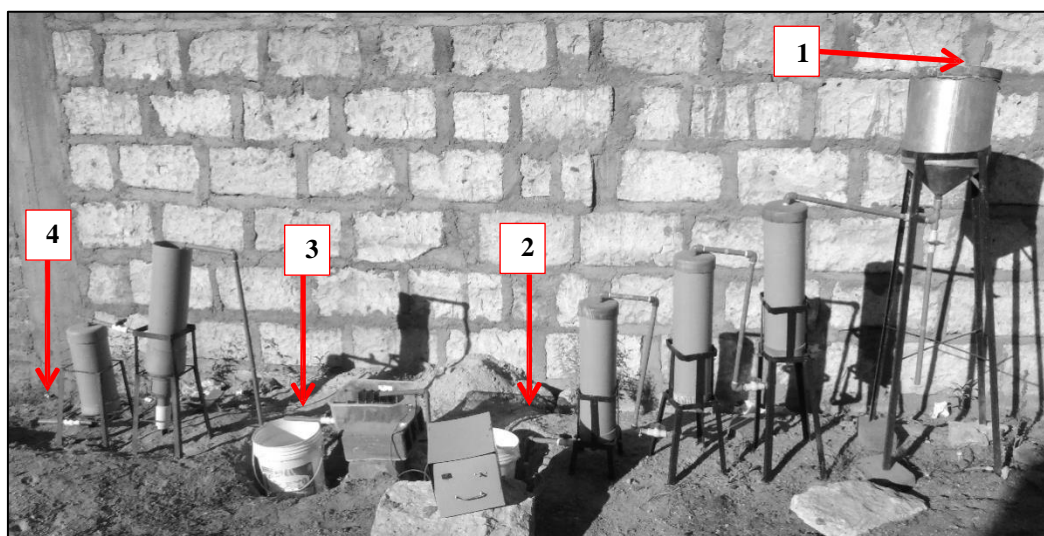


Figura 3. Modelo de sistema de tratamiento de efluentes de la curtiembre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una curtiembre por lo general tiene 6 etapas principales, siendo estas: lavado, remojo, pelambre, curtido, desencale y engrase; estas muestras tienen distinta composición, en la Figura 1 se aprecia muestras simples, donde se evidencia alta turbidez en cada una de ellas; la muestra de lavado y remojo tienen alta

carga orgánica por la presencia de restos de sangre, materia orgánica, etc.; la muestra de curtido tiene alta concentración de metales pesados, sulfatos y cromo; en la muestra de pelambre se evidencio abundante residuo sólido. Al mezclar las 6 mezclas esta representaba un efluente real tal cual se desecha esta muestra tiene un olor fétido, su coloración es marrón/plomo oscuro; en el proceso de filtración y sedimentación se apreció la retención de alta cantidad de solidos de diferentes tipos de partículas, principalmente predominaba residuos de pelo.

A continuación, se muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica de los 4 puntos de muestreo, se evidencia un valor casi nulo del oxígeno disuelto para todas las muestras lo cual era de esperarse por la cantidad de químicos que tienes estas muestras de curtiembres; al aplicar el sistema de tratamiento pasa de un valor inicial de turbidez de 170,2 a un valor final de 53, esto nos indica que el sistema removió 68,86 % la turbidez (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del análisis fisicoquímico en las cuatro etapas del sistema de tratamiento.

Muestra	pH valor	OD ppm	Conductividad ms/cm	Turbidez NTU
1	7,18	0,03	44,6	170,2
2	7,2	0,05	44,7	96,6
3	7,06	0,04	46	38
4	8,02	0,06	31,9	53

Zapana (2018); Sharma & Malaviya (2016), incluso en los lodos de la curtiduría se puede aislar hongos como *Paecilomyces lilacinus* y *Fusarium equiseti* (Sharma & Malaviya 2016). En el presente estudio se emplea la biomasa fungal porque es fácil de cultivar y genera abundante biomasa; se empleó *Aspergillus niger* y *Rhizopus sp* porque en diversos estudios (Dursun *et al.* 2003; Prigione *et al.* 2018; Srivastava & Thakur 2006), indican que son hongos potenciales para remediar metales pesados, esta capacidad se le atribuye a su capacidad de bioacumular. En el presente estudio se realiza la biorremediación porque representa una tecnología viable, económica, pero a su vez por su eficiencia y porque es amigable con el medio ambiente (Singh *et al.* 2020).

Seguidamente apreciamos las muestras obtenidas de cada etapa; se observa que con el pasar de cada etapa hay una reducción de la turbiedad, por ende, de la carga contaminante. Después de aplicar la electrocoagulación se observó que la turbidez se reduce aclarando la muestra, lo que nos indica que los sólidos totales presentes en esta muestra fueron removidos; Guerrero (2017) trabajo en un sistema tipo batch con 2,5 litros, logrando una remoción de 71,2 % de DBO₅ y 46,9 % de DQO a 16 voltios, trabajando a DQO inicial de 4063,7 mg/L y DBO₅ inicial de 1619,4 mg/L con tiempo de tratamiento de 45 minutos; en el presente estudio se ensayó preliminares a tiempos superiores a 30 minutos pero se observaba que la temperatura incremento en varios niveles, por lo que se optó trabajar a 15 minutos que

resultó ser óptimo a ese periodo, entre los factores que influyen en la electrocoagulación está el tiempo de electrólisis (Emamjomeh & Sivakumar 2009) (Figura 4).

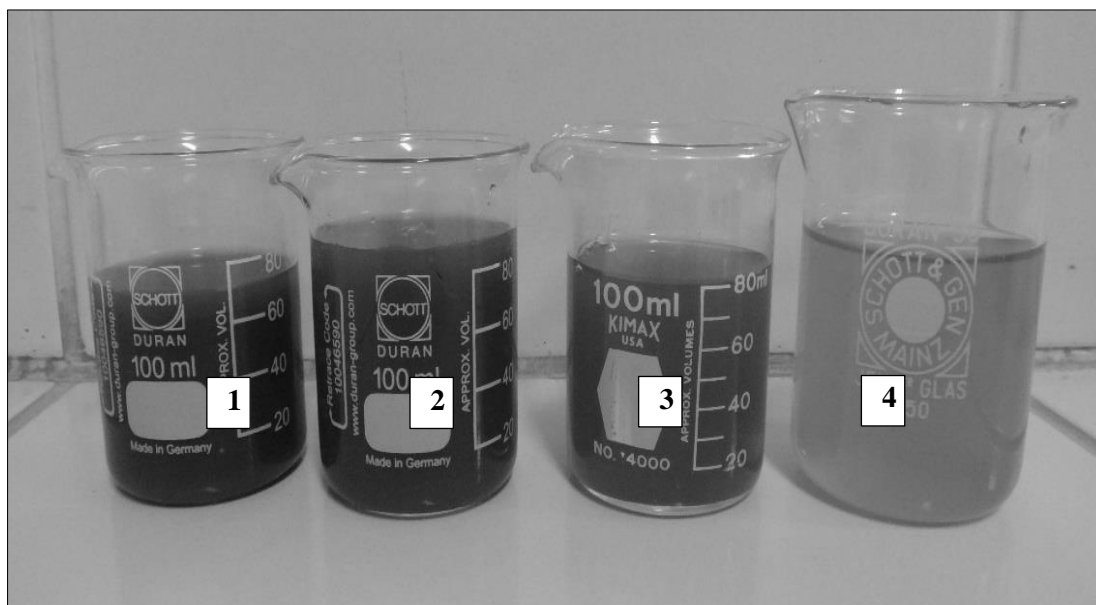


Figura 4. Muestras de las etapas del sistema. 1: antes de iniciar el proceso, 2: después del proceso de sedimentación y filtración, 3: después del proceso de electrocoagulación y 4: después del biofiltro.

A continuación, las muestras antes del tratamiento presentan una alta concentración de sulfatos y DQO, esto se debe a que en el proceso emplean varios productos químicos para las distintas etapas del proceso como: lavado, remojo, pelambre, curtido, desencale y engrase. Luego de aplicar el sistema de tratamiento los parámetros de DBO₅, DQO, sulfatos y dureza total mostraron reducción frente a los parámetros monitoreados antes del tratamiento; pero no se logró reducir lo suficiente como para encajar dentro de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de la industria de la curtiembre (Ministerio de la Producción 2002). La DQO se redujo de un valor de 26040 mg/L a un valor final de 4340 mg/L logrando una remoción de 83,33 %; en cuando a la DBO₅ pasa de un valor de 6578 mg/L a un valor final de 2208 mg/L lográndose remover 66,43 % (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del análisis fisicoquímico del antes y después de aplicar el sistema modelo.

Parámetro	Unidad	Antes	Después
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	6578	2208
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	26040	4340
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/L	13469	8089,66
Dureza total (CaCO ₃)	mg/L	6111.13	1735,29

En el trabajo desarrollado por De La Cruz *et al.* (2017), reportan una remoción de 90,1 % de la DQO y 99,99 % de remoción de cromo, cuando parten de una concentración inicial de 57,79 mg/L de cromo y una DQO de 1153 mg/L, el sistema que emplearon consistió en 4 etapas siendo estas: sedimentación,

filtración (con bomba de succión al vacío), electrocoagulación y filtro (arena y carbón activado), este sistema logra un buen porcentaje de remoción; se considera que la electrocoagulación ayuda a remover gran parte de los contaminantes como el que se logró en el presente estudio.

El principal metal a tomar en consideración al hablar de efluentes de curtiembres es el cromo, el cual es empleado principalmente en la etapa de curtido y liberado en sus efluentes. En la caracterización fisicoquímica de la muestra se obtiene > 50 ppm para cromo (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la concentración de los metales totales del antes y después de aplicar el sistema modelo.

Metal	Unidad	Antes	Después
Ag	mg/L	0,022	<0,002
Al	mg/L	2,92	2,69
B	mg/L	54,59	7,359
Ba	mg/L	0,3166	0,6536
Be	mg/L	0,0005	0,0024
Ca	mg/L	>250	>250
Cd	mg/L	0,003	0,0005
Co	mg/L	<0,0009	0,0055
Cr	mg/L	>50	7,786
Cu	mg/L	0,1311	0,0124
Fe	mg/L	5,87	0,922
K	mg/L	>250	>250
Zn	mg/L	2,863	0,255
Mg	mg/L	>250	>250
Mn	mg/L	0,739	0,4343
Na	mg/L	>1250	>1250
Tl	mg/L	0,1199	<0.0013
Ni	mg/L	0,357	0,1622
P	mg/L	37,01	5,674
Pb	mg/L	0,0563	0,0344
Sb	mg/L	1,709	0,027
Se	mg/L	<0,002	0,0189
SiO ₂	mg/L	73,98	35,18
Sn	mg/L	<0,0009	<0,0009
Sr	mg/L	2,957	3,053
Mo	mg/L	<0,00038	0,00173
Ti	mg/L	0,2441	0,0149
V	mg/L	<0,00014	0,05089

De La Cruz *et al.* (2017) reportan un valor similar en su caracterización fisicoquímica de las muestras de la curtiembre con un valor de cromo de 57,79 ppm, por su parte Babu *et al.* (2007) reportan una concentración de cromo de 40 ppm. A pesar de que los valores de cromo pueden variar este dependerá

de la tecnología de la curtiembre, algunas empresas optimizaron sus procesos lo que implica menor consumo de químicos y por ende menor desecho. Tras aplicar el sistema se logró reducir a 7,786 ppm lo que se traduce en una reducción de más del 84 %.

De ambientes contaminados se logra aislar microorganismos que tienen esa característica principal de tolerar esos contaminantes. Hay hongos que toleran metales pesados, viven y están adaptados a esas condiciones; hongos como *Penicillium* se logran aislar de efluentes de la curtiduría y son resistentes al

Otro problema de gran importancia son los residuos sólidos, entre ellos el pelo residual de la industria de la curtiembre, la biotransformación del pelo en compost es una alternativa viable para disminuir la contaminación ambiental ocasionada por esta (Numpaque & Viteri 2016). Es importante que la empresa realice la optimización de sus procesos en cuanto al uso de materia, insumos, etc., si bien es cierto que es inevitable que se generen residuos, al menos lo que se busca es que no se genere en exceso y si se optimiza se reducirá la carga contaminante (Monroy *et al.* 2019).

A pesar de que existen diversas tecnologías para tratar los residuos líquidos y sólidos de las industrias de la curtiembre cada una tiene sus ventajas y desventajas; si las empresas no optan por implementar es porque la mayoría de estas empresas son empresas medianas, que implementar una planta de tratamiento les genera mayor costo por lo que optan por desecharlo; pero al reducir los niveles de contaminación la empresa puede optar por certificaciones ambientales, podrá ampliar su cartera de clientes por ende generará mayor rentabilidad.

CONCLUSIONES

El modelo de sistema desarrollado basado en cuatro etapas principales de sedimentación, filtración, electrocoagulación y un biofiltro empaquetado con los micelios de los hongos *Aspergillus niger* y *Rhizopus sp*, logró reducir la DQO en 83,33 % y el cromo en más del 84 % con una concentración final de 7,786 ppm, a partir de una muestra compuesta de los procesos de lavado, remojo, pelambre, curtido, desencale y engrase de una curtiembre. Existen diversos métodos para tratar efluentes de las industrias de la curtiembre; el presente modelo es una alternativa, no requiere de mucha inversión y es amigable con el medio ambiente.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor (HAA), no tiene conflictos de intereses con otros autores.

REFERENCIAS

- Apaza H. 2019. Eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de materia orgánica de las aguas del río Torococha. *Revista Científica de Investigaciones Ambientales*, 2(2), 8–18. Recuperado de <http://revistas.upsc.edu.pe/journal/index.php/RIAM/article/view/57>
- Babu R. R., Bhadrinarayana N. S., Meera K. M., Begum M. S., Anantharaman N. 2007. Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 42(2), 201–206. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/N_Anantharaman/publication/228625432_Treatment_of_tannery_wastewater_by_electrocoagulation/links/53e959360cf2dc24b3cab436/Treatment-of-tannery-wastewater-by-electrocoagulation.pdf
- Carreño U. F. 2016. Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 74–81. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>
- Cheballah K., Sahmoune A., Messaoudi K., Drouiche N., Lounici H. 2015 . Simultaneous removal of hexavalent chromium and COD from industrial wastewater by bipolar electrocoagulation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 96, 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.08.007>
- Congeevaram S., Dhanarani S., Park J., Dexilin M., Thamaraiselvi K. 2007. Biosorption of chromium and nickel by heavy metal resistant fungal and bacterial isolates. *Journal of Hazardous Materials*, 146(1–2), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.017>
- Cuesta-parra D. M., Velazco-rincón C. L., & Castro-pardo J. C. 2018. Evaluación ambiental asociada a los vertimientos de aguas residuales generados por una empresa de curtiembres en la cuenca del río Aburrá. *UIS Ingenierías*, 17(2), 141–152. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018013>
- Dávila T., Sanchez N., Ordoñez D., Muñoz J., Benitez R. 2017. Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros : Remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 49–58. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(Edición Especial\)49-58](https://doi.org/10.18684/BSAA(Edición Especial)49-58)
- De La Cruz P. J., Silva E. H., Inca J. L. 2017. Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante el método de electrocoagulación para la reducción de la demanda química de oxígeno y cromo (Tesis pregrado, Universidad Nacional del Callao). Recuperada de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3594>
- Dobl M., Kumar A. 2005. Tannery Effluent. In *Biotreatment of Industrial Effluents* (p. 133–143). <https://doi.org/10.1016/b978-075067838-4/50013-0>
- Dursun A. Y., Uslu G., Cuci Y., Aksu Z. 2003. Bioaccumulation of copper (II), lead (II) and chromium (VI) by growing *Aspergillus niger*. *Process Biochemistry*, 38(12), 1647–1651. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00075-4)
- Emamjomeh M. M., Sivakumar M. 2009. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1663–1679. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.011>
- Ferro-Rodríguez D. E., Castiblanco-Rocha J. C., Agudelo-Valencia R. N., Ruiz-Martínez L. E. 2019. Evaluación de un sistema de centrifugación para el secado de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales en la curtiembre El Escorpión del municipio de Villapinzón, Cundinamarca. *Revista Vínculos*, 16(2). <https://doi.org/10.14483/2322939X.15188>
- Guerrero A. 2017. *Influencia del tiempo y voltaje en la disminución de la carga orgánica por electrocoagulación del agua residual de la curtiembre Cuenca S.A.C.* (Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo). Recuperado de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/26426>

-
- Langård S., Costa M. 2015. Chromium. In *Handbook on the Toxicology of Metals: Fourth Edition* (p. 717–742). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00033-0>
- Lazo E. A. 2017. Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Rio Seco, Arequipa (Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín). Recuperada de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2413>
- Meas Y., Ramirez J. A., Villalon M. A., Chapman T. W. 2010. Industrial wastewaters treated by electrocoagulation. *Electrochimica Acta*, 55(27), 8165–8171. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.05.018>
- Ministerio de la Producción. 2002. Decreto supremo N° 003-2002-PRODUCE .- Aprueban límites máximos permisibles y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>
- Mohammed K., Sahu O. 2019. Recovery of chromium from tannery industry waste water by membrane separation technology: Health and engineering aspects. *Scientific African*, 4, e00096. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00096>
- Monroy E. F., Peña C. A., Garzón, G. del P. 2019. Estrategias de producción más limpia –PML: caso aplicado a la industria de curtiembre. *Producción + Limpia*, 14(1), 61–75. <https://doi.org/10.22507/pml.v14n1a5>
- Nidheesh P. V., Kumar A., Syam Babu D., Scaria J., Suresh Kumar M. 2020. Treatment of mixed industrial wastewater by electrocoagulation and indirect electrochemical oxidation. *Chemosphere*, 251, 126437. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126437>
- Numpaque R. V., Viteri S. E. 2016. Biotransformación del pelo residual de curtiembres. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 95–105. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.56>
- Prigione V., Trocini B., Spina F., Poli A., Romanisio D., Giovando S., Varese G. C. 2018. Fungi from industrial tannins: potential application in biotransformation and bioremediation of tannery wastewaters. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 4203–4216. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8876-x>
- Quijano A., Castillo C., Meléndez I. 2015. Potencial mutagénico y genotóxico de aguas residuales de la curtiembre Tasajero en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 13–20. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.449>
- Reyes-Serrano A., López-Alejo J. E., Hernández-Cortázar M. A., Elizalde I. 2020. Removing contaminants from tannery wastewater by chemical precipitation using CaO and Ca(OH)₂. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.12.023>
- Rosales A. G., Rodríguez C. D., & Ballen-Segura M. 2018. Remoción de contaminantes y crecimiento del alga *Scenedesmus* sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas. *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 11–34. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.1>
- Sanjay M. S., Sudarsanam D., Raj G. A., Baskar K. 2020. Isolation and identification of chromium reducing bacteria from tannery effluent. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 265–271. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.05.001>
- Sharma S., Malaviya P. 2016. Bioremediation of tannery wastewater by chromium resistant novel fungal consortium. *Ecological Engineering*, 91, 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.005>
- Srivastava S., Thakur I. S. 2006. Isolation and process parameter optimization of *Aspergillus* sp. for removal of chromium from tannery effluent. *Bioresource Technology*, 97, 1167–1173.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.012>

Zapana S. V. 2018. Biorremediación de efluentes de curtiembres mediante hongos aislados del parque industrial de río seco (PIRS) – Arequipa, en condiciones de biorreactor tipo AIRLIFT (Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín). Recuperada de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7322>