

Tratamiento fisicoquímico de agua residual proveniente del proceso de cromatizado

Physiochemical Treatment of Residual Water from the Chromatization Process

Araceli Salazar Peralta¹, J. Alfredo Pichardo Salazar², Ulises Pichardo Salazar³, Rosa Hilda Chávez⁴

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0001-5861-3748> | araceli.salazar@tesjo.edu.mx

²Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios, No. 161, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0002-8939-9921> | josealps@gmail.com

³Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios, No. 23, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0002-3758-2038> | salazar_ulysses@yahoo.com.mx

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0002-2460-3346> | rhildach@gmail.com

Recibido 30-05-2022, aceptado 18-08-2022

Resumen

El problema de la contaminación ambiental trae consigo problemas que afectan el desarrollo de todo ser viviente, como plantas, animales incluyendo al hombre [1]. El agua es uno de los principales recursos naturales que se ven afectados por la actividad industrial, ya que de ella dependen muchos procesos industriales para la elaboración de productos o bien es utilizada como servicio auxiliar, indispensable en operaciones unitarias, por lo cual se deben establecer procedimientos para el tratamiento del agua que ayuden a conservar su naturaleza y preservación para las generaciones futuras [1]. La preocupación por la contaminación ambiental ha fomentado la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta para que los procesos industriales a través de tecnologías limpias logren disminuir los niveles de contaminantes en los efluentes. En la mayoría de las empresas se generan aguas residuales con concentraciones de sustancias contaminantes, debido a que los métodos de tratamiento son económicamente poco viables y tienen baja efectividad. En la industria, el cromo se utiliza en: procesos de curtido, pigmentos textiles, aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, baterías, fungicidas, recubrimientos metálicos, electro galvanizado, etc. El objetivo de este estudio fue establecer la metodología para la reducción de cromo VI a Cromo III en agua residual, así como su control para cumplir con los parámetros establecidos en la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 [22]. Los resultados obtenidos después del tratamiento fueron de 0.059 a 0.99mg/L de cromo III. Se concluye que el tratamiento con Metabisulfito de sodio es una buena opción para la reducción del cromo. Lo relevante de este estudio consiste en que el agua se puede reutilizar para el riego de áreas verdes.

Palabras clave: agua residual, Cromo VI, metabisulfito de sodio.

Abstract

The problem of environmental pollution brings with it problems that affect the development of all living beings, such as plants, animals, including man [1]. Water is one of the main natural resources that are affected by industrial activity, since many industrial processes depend on it for the production of products or it is used as an auxiliary service, essential in unitary operations, for which it must be established procedures for water treatment that help conserve its nature and preservation for future generations [1]. The concern about environmental pollution has promoted the research and development of sustainable technologies, as well as increasingly strict regulations so that industrial processes through clean technologies can reduce the levels of pollutants in effluents. In most companies, wastewater with concentrations of polluting substances is generated, due to the fact that treatment methods are economically unfeasible and have low effectiveness. In industry, chrome is used in: tanning processes, textile pigments, alloys, catalysts, anticorrosive agents, batteries, fungicides, metallic coatings, electro galvanizing, etc. The objective of this study was to establish the methodology for the reduction of Chromium VI to Chromium III in wastewater, as well as its control to comply with the parameters established in the NOM-001-SEMARNAT-1996 Standard [22]. The results obtained after treatment were from 0.059 to 0.99mg/L of chromium III. It is concluded that the treatment with sodium metabisulfite is a good option for the reduction of chromium. The relevance of this study is that the water can be reused for irrigating green areas.

Index terms: waste water, Chromium VI, sodium metabisulfite.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental por metales pesados es ocasionada principalmente por las actividades antropogénicas, tales como las realizadas en las industrias metalúrgica, agrícola y la manufacturera, así como a las malas prácticas de almacenamiento y disposición de los residuos generados [19]. Estas industrias liberan al medio ambiente, cada año, poco más de 5 millones de toneladas de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se), vanadio (V) y zinc (Zn) [3]. Estos metales tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente y de manera eventual se acumulan a través de la cadena trófica, lo que representa una seria amenaza para la salud y bienestar de los seres vivos [3]. La remoción de los metales pesados de las aguas residuales industriales es esencial para disminuir la contaminación ambiental. La contaminación del agua por metales pesados representa un problema ambiental importante debido a los efectos tóxicos que provocan a la salud humana. Las principales fuentes de contaminación del agua por metales pesados provienen de las aguas residuales industriales tales como metalizado, minería, curtiembres, pinturas, fabricación de radiadores, fundición, industrias de aleaciones, entre otros [1], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]. La descarga máxima permisible para cromo hexavalente hacia cuerpos receptores debe ser menor a 0,5 mg.l⁻¹ según el reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales decreto ejecutivo N°. 21-2017 [2]. El cromo existe en más de un estado de oxidación desde Cr (0) la forma metálica, hasta su forma hexavalente, Cr (VI). Especialmente, el cromo en su estado de oxidación +6 es considerado peligroso incluso en pequeñas concentraciones, mientras que Cr en estado de oxidación +3 es esencial para la salud en condiciones moderadas [4].

El cromo hexavalente puede ocasionar efectos adversos a corto y a largo plazo, siendo el tracto respiratorio el principal órgano afectado después de la exposición. El cromo hexavalente puede ocasionar cáncer de pulmón, irritación o daños en la piel, ojos, nariz y garganta. Según la OSHA, el valor límite de exposición permisible de cromo hexavalente por día debe ser 5 µg.m⁻³ [5], [1], [12]. La exposición por inhalación crónica al cromo hexavalente en humanos produce perforaciones y ulceraciones del tabique, bronquitis, disminución de la función pulmonar, neumonía, asma y picazón nasal. Los altos niveles de cromo hexavalente pueden producir efectos en el hígado, los riñones, sistema gastrointestinal e inmunitario [6].

Actualmente existen todavía varias empresas que desechan el agua residual sin tratamiento. De ahí la importancia de este estudio como colaboración al cuidado de nuestro entorno.

La contaminación del agua por Cr (VI) se debe a los efluentes industriales no tratados, generados por la industria metalúrgica, la fabricación de cromados, el curtido de pieles, la galvanoplastia, la conservación de madera, la preparación de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor, la minería, la producción de cemento, colorantes, pinturas y material fotográfico [7], [8], [9]. Aun cuando los metales pesados se encuentren diluidos y en cantidades no detectables, su recalcitrancia y persistencia en los cuerpos de agua ocasiona que, a través de procesos como la biomagnificación, su concentración se incremente hasta alcanzar niveles tóxicos [8], [9], [10].

El método más usado para la eliminación de metales procedente de efluentes industriales es la precipitación en forma de hidróxido, añadiendo sosa cáustica (NaOH) o cal (Ca(OH)₂) para obtener un pH alcalino. Se suelen añadir sulfato de hierro y de aluminio como coagulantes. Sin embargo el Cr(VI) es soluble y no precipita a ningún valor de pH; además que estos al final provocan un alto coste por la cantidad de lodos generados y muy poco filtrantes y la neutralización del agua después de la precipitación [4]-[16], [17], [18].

Este proyecto de investigación muestra el desarrollo de una metodología experimental estableciendo los pasos a seguir para la reducción de cromo VI a Cromo III en agua residual usando metabisulfito de sodio, así como su control para cumplir con los parámetros establecidos en la Norma NOM-001-SEMARNAT-1996 [22], para la adsorción del cromo se empleó un sistema de coagulación-floculación. El proceso de Coagulación-

floculación resulta un método útil para la separación de partículas muy finas de naturaleza coloidal que presentan gran estabilidad en el agua. Se denomina coagulación al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua [20], [21]. La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas.

II. METODOLOGÍA

8

El tratamiento fisicoquímico del agua residual se llevó a cabo de la siguiente manera:

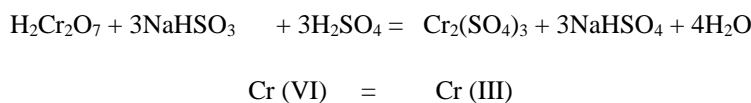
1. La muestra se tomó de los baños de acabado superficial de cromatizado de una empresa metalmecánica.

- a) Neutralización: El agua se neutralizó con hidróxido de calcio para ajustar el pH del agua a un rango de 7-8 unidades, y así permitir que el producto coagulante que se adiciona posteriormente reaccione en forma eficiente.
- b) Coagulación: Es una técnica química cuyo objetivo es la desestabilización de las partículas coloidales (contaminantes del agua), resulta ser que la mayoría de las partículas en suspensión del agua residual es de tamaño tan pequeño, que su eliminación en los tanques de sedimentación por gravedad no fue posible, por lo cual se hizo por coagulación agregando sulfato de aluminio (40g/l), para a la desestabilización de los contaminantes del agua y rompimiento de las fuerzas eléctricas para la formación de un precipitado químico. En esta etapa es donde se realizó la adición de metabisulfito de sodio para la reducción de cromo VI a Cr III. Esto de acuerdo a la demanda de metabisulfito de sodio.
- c) Floculación: Es una técnica de mezclado lento que induce la formación de aglomerados de partículas desestabilizadas, producto del proceso de coagulación en la etapa anterior; generalmente la formación de aglomerados (agrupación de flóculos), se incrementa al adicionar un producto polimérico a la mezcla del agua coagulada, ayudando también un aumento de peso y velocidad de sedimentación de los flóculos formados. En este caso se agregó un polímero de acrilamida.
- d) Método para la determinación de la demanda de metabisulfito de sodio para la reducción de cromo VI a Cromo III.
 - 1) Pipetear una muestra de 10 ml de agua residual, que contiene cromo hexavalente, en un matraz de 250 ml y diluir a 100 ml con agua destilada.
 - 2) Adicionar 1 gramo de cristales de yoduro de potasio (KI) y agitar hasta disolver.
 - 3) Adicionar 15 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado al matraz.
 - 4) Titular con una solución de tiosulfato de sodio 0.1N, hasta que la solución roja naranja se vuelva color paja.
 - 5) Adicionar 15 a 20 gotas de solución indicadora de almidón, la solución se tornará purpura oscura, continuar titulando lentamente hasta que la solución cambie a color verde claro o pálido.
- 6) Cálculos:
 - 6.1. Cálculo para determinar la cantidad necesaria de metabisulfito de sodio.

4

- a) ml gastados de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\times 1.45 = \text{lb Cr(VI)} / 1000 \text{ gal Agua}$
- b) Si se desea saber en mg/L , y se gasta 1 ml de tiosulfato de sodio se realiza la siguiente conversión:
Partes Por Millón (p.p.m.) = $(1.45 \text{ lb})(1 \text{ gal})(0.454 \text{ kg})(1000\text{g})(1000\text{mg}) / (1000\text{gal})(3.785 \text{ L})(1\text{lb})(1\text{kg})(1\text{g}) = 173.92 \text{ mg L}$
- c) La cantidad teórica de metabisulfito de sodio para reducir cromo (VI) a cromo (III), es la siguiente:
Para reducir 1 p.p.m. de Cr (VI) se necesitan 2.81 p.p.m. de metabisulfito ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), en la práctica, se tomó como 3 p.p.m.

6.2. La reacción de reducción de Cr (VI) a Cr (III) se esquematiza de la siguiente forma:



Esta reacción es instantánea para valores de pH inferiores a 2.5

III. RESULTADOS

Después del tratamiento se analizó el contenido de Cromo en el agua residual por medio de absorción atómica con un equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer durante 3 meses. Al observar la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3, se tiene que los resultados están dentro de la especificación, ya que la norma establece como máximo 1.5 ppm de cromo en agua residual para uso en riego agrícola (véase Figuras 1, 2 y 3).

TABLA 1
CONTENIDO DE CROMO III EN AGUA RESIDUAL EN EL MES DE MARZO DE 2021

Muestras	Contenido de Cromo en ppm	pH	Observaciones
1	0.088	9.8	Dentro de especificación
2	0.36	9.5	Dentro de especificación
3	0.99	9.0	Dentro de especificación
4	0.14	8.96	Dentro de especificación
5	0.21	8.47	Dentro de especificación
6	0.13	8.43	Dentro de especificación
7	0.41	7.0	Dentro de especificación
8	0.22	6.98	Dentro de especificación
9	0.35	9.0	Dentro de especificación
10	0.15	7.2	Dentro de especificación

5

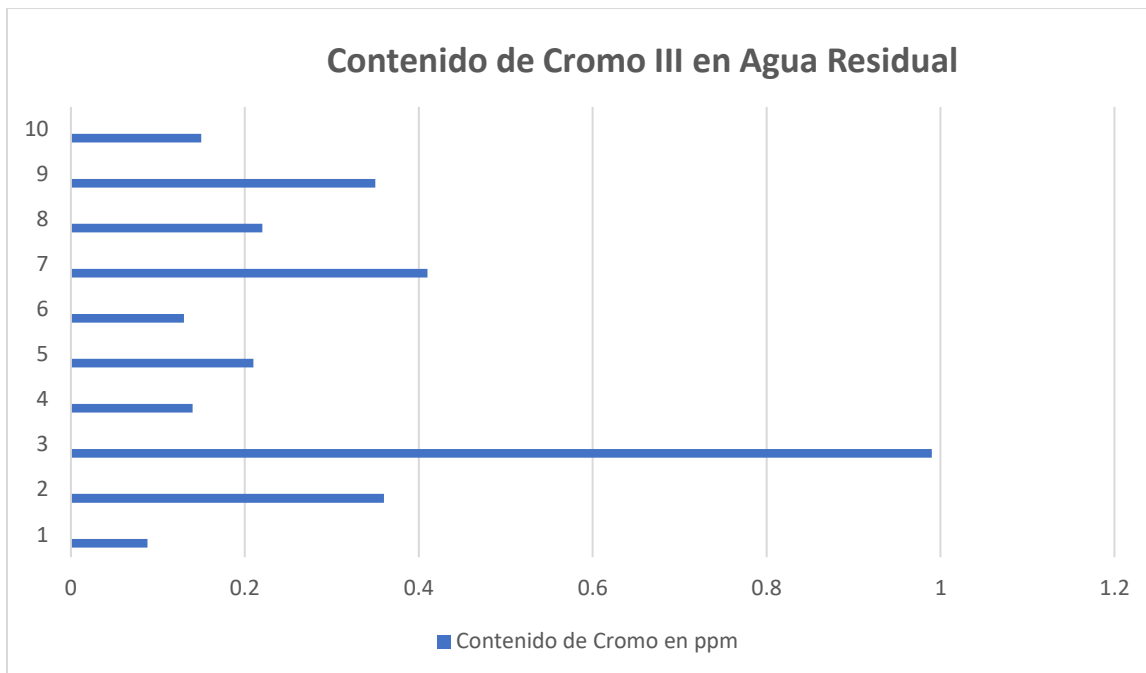


Fig. 1. Contenido de Cromo en agua residual del mes de marzo.

TABLA 2
CONTENIDO DE CROMO EN EL MES DE ABRIL

Muestra	Contenido de Cromo en ppm	pH	Observaciones
1	0.63	7.28	Dentro de especificación
2	0.21	9.3	Dentro de especificación
3	0.11	8.35	Dentro de especificación
4	0.25	8.13	Dentro de especificación
5	0.26	7.95	Dentro de especificación
6	0.26	8.25	Dentro de especificación
7	0.15	8.83	Dentro de especificación
8	0.46	7.67	Dentro de especificación
9	0.25	8.75	Dentro de especificación
10	0.20	8.5	Dentro de especificación

6

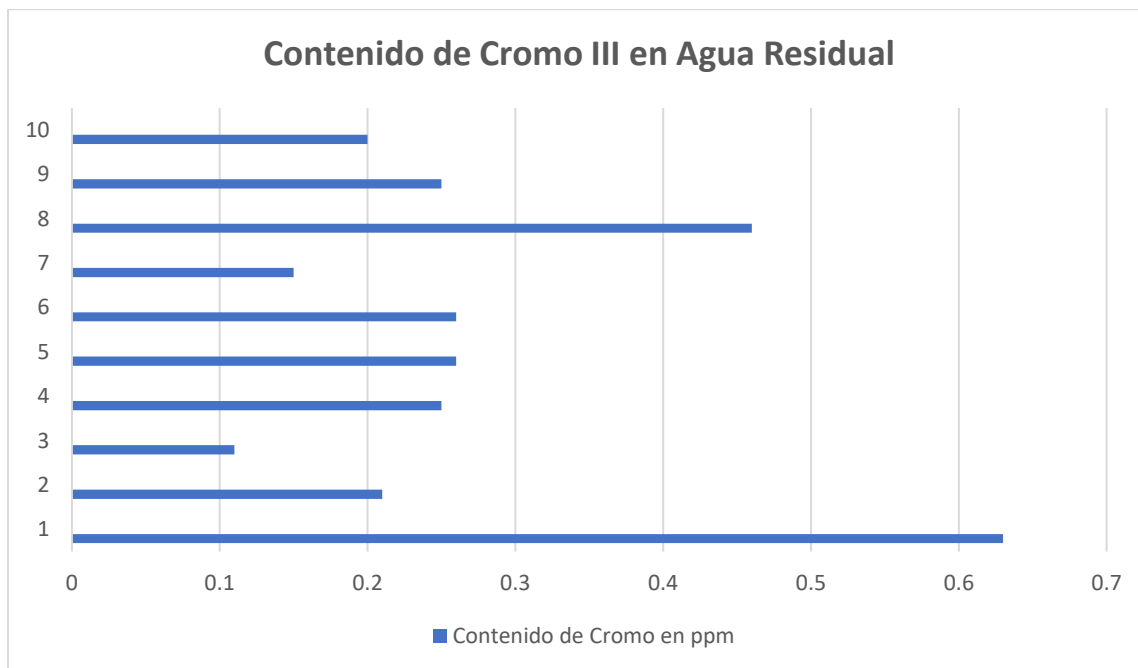


Fig. 2. Contenido de Cromo en agua residual en el mes de abril.

TABLA 3
CONTENIDO DE CROMO EN AGUA RESIDUAL EN EL MES DE MAYO DE 2021

Muestra	Cromo en ppm	pH	Observaciones
1	0.20	8.6	Dentro de especificación
2	0.059	9.63	Dentro de especificación
3	0.24	7.57	Dentro de especificación
4	0.24	8.12	Dentro de especificación
5	0.68	7.64	Dentro de especificación
6	0.15	7.10	Dentro de especificación
7	0.11	10.78	Dentro de especificación
8	0.22	7.50	Dentro de especificación
9	0.19	8.42	Dentro de especificación
10	0.20	8.41	Dentro de especificación

7

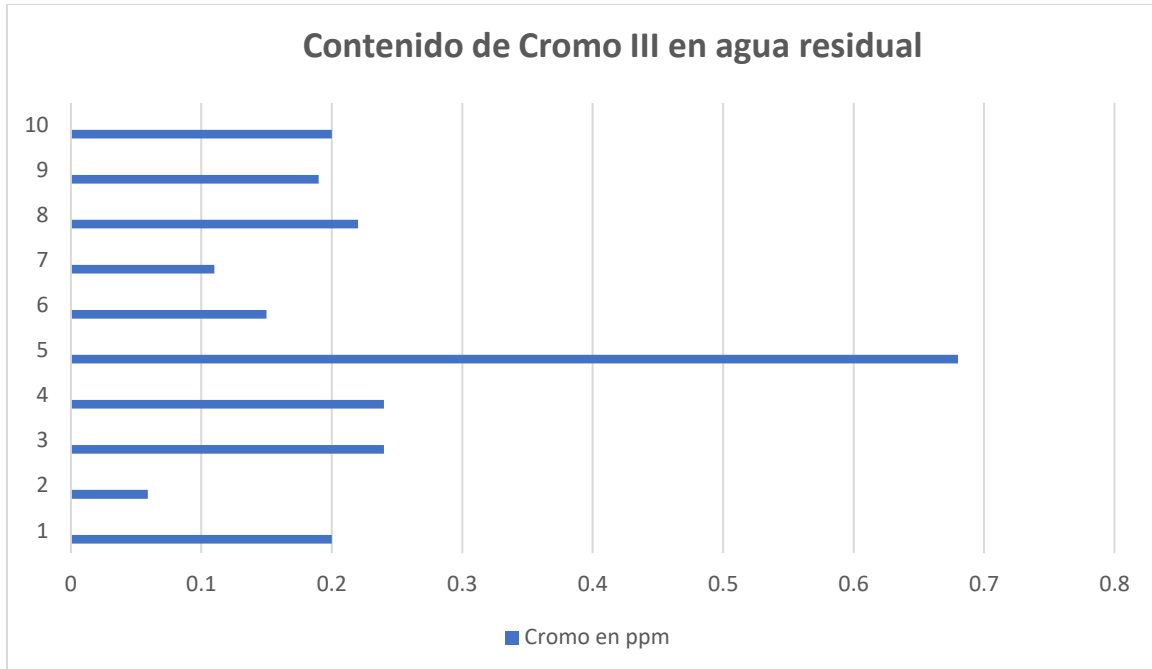


Fig. 3. Contenido de Cromo en agua residual en el mes de mayo.

Como puede observarse en el gráfico 1. El contenido de cromo III en el agua residual ya tratada durante el mes de marzo osciló entre 0.088 a 0.99 ppm.

En el mes de abril el contenido de cromo III en el agua residual con tratamiento osciló entre 0.11 a 0.66 ppm.

En el mes de mayo el contenido de cromo III del agua residual con tratamiento osciló entre 0.059 a 0.68 ppm

Los resultados obtenidos después del tratamiento estuvieron dentro de especificación.

Cabe mencionar que antes del tratamiento del agua el cromo se encontraba con el estado de oxidación VI. Y los valores de cromo VI todos estaban fuera de especificación (mayores a 1.5 ppm).

La importancia de este estudio estriba en la contribución de la empresa al desarrollo sustentable ya que se tomó la decisión de no seguir descargando el agua sin tratamiento, sino por el contrario como empresa socialmente responsable dar tratamiento al agua residual antes de su descarga.

IV. CONCLUSIONES

La calidad del agua tratada se mejoró, ya que los niveles de cromo en los tres meses de estudio se mantuvieron dentro de especificación del parámetro establecido como máximo (1.5 mg/L), ya que sin tratamiento todas las muestras analizadas estaban fuera de especificación.

Como puede observarse es de primordial importancia dar tratamiento a el agua residual para su posterior utilización, ya que se puede emplear en los sanitarios, o usarse como agua de riego en las áreas verdes de las empresas donde se tienen procesos de tratamiento superficial con cromo.

Se recomienda seguir tratando el agua residual, así como seguir verificando el contenido de cromo después de la reducción del cromo para evitar desechar agua fuera de especificación, ya que el cromo VI es un elemento de alta toxicidad que puede provocar problemas de salud como cáncer entre otros.

La importancia de este estudio consistió en la reducción del Cromo VI a Cromo III, ya que en la empresa donde se efectuó el estudio, el agua se descargaba a la tubería sin tratamiento al igual que otras empresas del ramo industrial contaminando el medio ambiente. Además de que el cromo se desechaba en estado de oxidación VI. Este estudio sienta las bases de otros posteriores para la mejora en el tratamiento del agua como inicio de una mejora continua del proceso de acabados superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán por las horas de Investigación asignadas, ya que sin ellas no podría llevar a cabo estudios de este tipo por falta de tiempo.

Se agradece, además, a todos mis colaboradores, quienes con sus consejos y apoyo me ayudan a llevar a buen término este tipo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] M. N. A. Al-Azzawi, S. M. Shartoo, S. Al-Hiyaly, "The Removal of Zinc, Chromium and Nickel from Industrial Waste-Water Using Banana Peels", *Iraqi Journal of Science*, pp. 72-81, 2013.
- [2] Asamblea Nacional, "Decreto Ejecutivo N°. 21-2017", en *La Gaceta, Diario Oficial*, p. 48, 2017.
- [3] B. Volesky, Z. R. Holant, "Biosorption of Heavy Metals", *Biotechnol. Prog.*, no. 11, pp. 235-250, 1995.
- [4] J. Guertin, *Toxicity and Health Effects of Chromium (All Oxidation States)*. *Chromium (VI) Handbook*, pp. 215-234, 2004.
- [5] OSHA, *Hexavalent Chromium*, Washington, 2009.
- [6] EPA, *Chromium Compounds*, 2000, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/chromium-compounds.pdf>
- [7] M. Aguilar, et al., "Remoción de plomo de soluciones acuosas por titanato de potasio dopado con sílice", *Rev. Int. Contam. Ambient*, vol.25, no. 3, pp.125-132, 2009.
- [8] B. Atkinson, F. Bux, H. Kanan, *Considerations for Application of Biosorption Technology to Remediate Metal-Contaminated Industrial Effluents*, Water SA, pp. 129-135, 1998.
- [9] S. Kamsonlian, S. Suresh, C. Majumder, S. Chand, "Characterization of Banana and Orange Peels: Biosorption Mechanism", *International Journal of Science Technology & Management*, pp. 1-7, 2011.
- [10] Z. Abbasi, M. Alikarami, E. Nezhad, F. Moradi, V. Moradi, "Adsorptive Removal of Co²⁺ and Ni²⁺ by Peels of Banana from Aqueous Solution", *Universal Journal of Chemistry*, 90-95, 2003.
- [11] APHA, AWWA, WEF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", En *3500-Cr B. Colorimetric Method* (pp. 69-70). Washington: American Public Health Association, 2012.
- [12] A. Ashraf, S.,Khalid, M. Fazal, "Removal of chromium (VI) from aqueous medium using chemically modified banana peels as efficient low-cost adsorbent", *Elsevier*, pp. 1-10, 2016.
- [13] B. Meroufel, O. Benali, M. Benyahia, "Adsorptive removal of anionic dye from aqueous solutions by Algeriankaolin: Characteristics, isotherm, kinetic and thermodynamic studies", *J. Mater. Environ. Sci.*, pp. 482-491, 2013.
- [14] P. Deshmukh, G. Khadse, V. Shinde, P. Labhasetwar, "Cadmium Removal from Aqueous Solutions Using Dried Banana Peels as An Adsorbent: Kinetics and Equilibrium Modeling", *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, no. 8, pp. 395, 2017.
- [15] M. Díaz, R. Contreras, M. Guardiola, C. Mayo del Río, "Kinetic study of absorption of chromium (VI) using Canary Bananas Peels in contaminated water", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, pp. 139-145, 2017.
- [16] M. Kumar, C. Majumder, "Bio-adsorptive Removal of Cr (VI) from Stimulated Tannery Waste Water using Different Adsorbents and Compare with GAC" *Krishni Sanskriti*, pp. 73-86, 2014.
- [17] M. Romero-Sevilla, S. Sánchez-Cuadra, M. Benavente Silva, "Aplicación de Quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías", *Nexo Revista Científica*, pp. 104-119, 2018.

- [18] J. Memon, S. Memon, M. Bhanger, M. Khuhawar, "Banana Peel: A Green and Economical Sorbent for Cr(III) Removal", *Pak. J. Anal. Environ. Chem.*, pp. 20-25, 2009.
- [19] M. Rege, J. Petersen, D. Johnstone, C. Turik, D. Yonge, W. Apel, "Bacterial reduction of hexavalent chromium by *Enterobacter cloacae* strain HO1 grown on sucrose", *Biotechnology Letters*, vol. 19, no. 7, pp. 691-694, 1997.
- [20] F. Rosales-Ayala, D. Rovira-Quezada, R. Campos-Rodríguez, "Calidad de las aguas residuales de tipo especial en la ciudad La Libertad, El Salvador", *Tecnología en Marcha*, vol. 32, no. 3, pp. 135-145, Jul.-Sep., 2019. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4504>
- [21] L. Torres, J. Cárdenas, M. Moctezuma, V. Martínez, I. Acosta, "Remoción de cromo hexavalente por la cáscara de plátano (*Musa cavendishii*)", *Química Hoy, Chemistry Sciences*, pp. 29-32, 2012.
- [22] NOM-001-SEMARNAT-1996, 1996.

6