

# EVALUACIÓN DE LA SEMILLA *MORINGA OLEÍFERA* COMO PRETRATAMIENTO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA REMOVER CROMO EN AGUAS RESIDUALES DE TENERÍAS

Gómez-Medina, Andrea (1), Vázquez-Rodríguez, Guadalupe (2), Baltazar-Vera, Juan Carlos (3),  
Ramírez-Ramírez, Natividad (4), Tirado Torres David (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: [a.molina@ugto.mx](mailto:a.molina@ugto.mx)]

2 [Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: [d.tirado@ugto.mx](mailto:d.tirado@ugto.mx), [g.vazquez@ugto.mx](mailto:g.vazquez@ugto.mx)]

3 [Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: [jc.baltazarvera@ugto.mx](mailto:jc.baltazarvera@ugto.mx)]

4 [Departamento de Ingeniería Hidráulica y Geomática, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: [n.ramirez@ugto.mx](mailto:n.ramirez@ugto.mx)]

## Resumen

Las semillas de *Moringa oleifera* se utilizaron como un bioabsorbente para remover cromo total en agua residual de tenerías. El comportamiento de la remoción del cromo con el bioabsorbente se evaluó a pH 3.0, 5.0 y 7.0, solución de moringa 3 y 5 g y tiempo de agitación de 15 y 30 min. Los resultados indicaron que el cromo se sedimentó totalmente a pH 7.0. Los valores obtenidos para turbidez muestran que el pH 7 es la variable que presenta mayor efecto. Por otra parte la remoción de cromo total se vio afectada mayormente por el pH, siendo el pH 7 el óptimo. Estos resultados sugieren que a pH 7 el cromo se forma en  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  por lo que tiende a precipitarse. Finalmente se concluye que el pH es el único factor que afectó la remoción del cromo total.

## Abstract

*Moringa oleifera* seeds were used as a bioabsorbent to remove total chromium in waste water from tanneries. The behavior of the chromium removal with the bioabsorbent was evaluated at pH 3.0, 5.0 and 7.0, moringa solution 3 and 5 g and agitation time of 15 and 30 min. The results indicated that the chromium was completely sedimented at pH 7.0. The results for turbidity show that pH is the variable that has the greatest effect on the turbidity reduction, being the optimum at pH7. On the other hand, the removal of total chromium was affected mainly by pH, with pH 7 being the optimum. These results are due to the fact that, at pH 7, chromium is formed in  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , which is why it tends to precipitate. In conclusion, pH is the only factor that affected the removal of total chromium.

## Palabras Clave

Remoción; Bioabsorbente; Tecnología alternativa; Turbidez

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Guanajuato, diversas preocupaciones ambientales están asociadas con la industria del cuero debido a la generación de altas cantidades de desechos sólidos y líquidos, así como olores desagradables durante el proceso de fabricación [1]. El procesamiento de una tonelada métrica de cuero crudo da como resultado 200 kg de cuero curtido, 190-350 kg de residuos no curtidos, 200-250 kg de desechos de cuero curtido y 50,000 kg de aguas residuales [2]. Diversos autores han caracterizado los parámetros de las aguas residuales de curtiembres en todas las operaciones de proceso, encontrando los siguientes valores para las aguas residuales de curtido: pH (2.5-3.0), DBO (350-800), DQO (1000-2500), sólidos totales (25,000-60,000), sólidos disueltos (24,000-57,500), sólidos suspendidos (1000-2500), cloruros (15,000-25,000) y cromo total (2000-5000) [3, 4].

El cromo (Cr) se encuentra entre los metales pesados más tóxicos que tienen un impacto en la salud humana y el medio ambiente [5]. Se han desarrollado amplias gamas de tecnologías para eliminar el Cr del agua y las aguas residuales. Algunos de los métodos incluyen precipitación química, intercambio iónico, filtración de membrana, adsorción y reducción/oxidación seguida de otros métodos de tratamiento. Muchas de las tecnologías de tratamiento son costosas y algunas son ineficaces. El tratamiento de floculación-coagulación con el uso de compuestos orgánicos se ha convertido en uno de los procesos más populares para la eliminación de metales pesados en aguas residuales debido a su bajo costo y respeto con el medio ambiente [6].

*M. oleifera* es un árbol tropical resistente a la sequía con usos múltiples. Es una fuente importante de elementos alimentarios esenciales y también es bien conocida porque sus semillas poseen un alto contenido de aceite (rendimiento del 30-40% en peso). La propiedad más singular de la semilla de *M. oleifera* es su capacidad para servir como coagulante natural para el tratamiento del agua [7, 8]. El coagulante se obtiene después de la extracción del aceite de la semilla. Además de los beneficios de la coagulación, el carbón activado también se puede producir a partir de las vainas y la cáscara de las semillas. A menudo, los adsorbentes de los biomateriales se utilizan en su forma cruda y pueden liberar cargas orgánicas y de nutrientes al agua tratada. Este es uno de los principales inconvenientes de los bioadsorbentes. En el caso de *M. oleifera*, la liberación de cargas orgánicas y de nutrientes del polvo de semilla cruda se puede minimizar mediante algún procesamiento. Lo anterior implica la extracción del aceite y el coagulante de la semilla. El objetivo principal de este estudio fue investigar la efectividad de la semilla de *M. oleifera* para la remoción de Cr de un agua residual real de tenería.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención del agua residual de tenería

El agua residual de tenería fue recolectada en el municipio de León, Guanajuato. Esta agua pertenece al tratamiento de curtido de las pieles vacunas, se conoce que tienen alta carga orgánica, grasas y cromo.

### Preparación del bioadsorbente

Las semillas secas de *M. oleifera* se obtuvieron en Oteapan, Veracruz. Primero, la cáscara que envolvía cada semilla se eliminó manualmente y la semilla se lavó minuciosamente con agua destilada y se secó a 25 °C durante 24 h. La semilla seca se trituró hasta un polvo fino usando un mezclador de cocina y se tamizó a través de un tamaño de tamiz de 425 µm de diámetro. La extracción del aceite de la semilla se realizó utilizando alcohol isopropílico después de 120 minutos de agitación magnética (1:10, peso/volumen). Después, la semilla fue filtrada al vacío y el sólido fue colectado y dejado a secar a temperatura ambiente por 24 h. Luego, el sólido se colocó nuevamente a agitación por 60 min con NaCl al 0.2 M con una relación 1:10

(peso/volumen) para extraer la solución de coagulante. Ya extraídos los coagulantes, se aforaron las soluciones a 100 ml.

## Estudios de absorción

Los experimentos de absorción se llevaron a cabo en un equipo de pruebas de jarras con soluciones de 3 y 5 g de bioabsorbente, tiempos de agitación de 15 y 30 min a pH de 3, 5 y 7 y a una velocidad de agitación de 20 rpm. Se añadieron 300 mL de agua residual en vasos de precipitado de 1 L con una concentración de 2,840 mg/L de cromo total (pH 3.56), ajustando a los respectivos pH (3, 5 y 7). Una vez ajustado el pH, se añadieron 20 mL de solución del bioabsorbente según su concentración (3 y 5 g). Posteriormente fueron colocados al equipo de pruebas de jarras a tiempos de agitación de 15 y 30 min. Ya cumplidos los tiempos de agitación se dejaron reposar por 45 min y se tomó muestra del agua clarificada.

Se extrajo un volumen fijo (10 ml) de cada muestra tratada y se filtró a través de papel de filtro Whatman n° 40. La muestra fue aforada a 50 ml para la determinación de cromo total bajo el principio de la NMX-AA-044-SCFI-2001. Cada muestra fue digerada en medio ácido (ac. Nítrico: ac. Clorhídrico, 1:1, v/v) en reflujo hasta un volumen de 2 mL esto con el fin de oxidar la materia orgánica tanto de los residuos del agua residual, como del bioabsorbente. Luego, las muestras fueron resuspendidas y aforadas a 50 mL, se ajustó su pH a 2.0 y se añadió 1 g de peróxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ), se colocó a calentamiento ligero (70 °C) por 10 min. Las muestras se ajustaron a pH 1.0 y se añadió 1 mL de difenilcarbazida (5 mg/L) dejando reposar por 10 min para completar su reacción. Las muestras analizaron usando un espectrofotómetro UV/Visible a una longitud de onda de 540 nm. Finalmente, se determinó la capacidad de absorción de la *M. oleifera*. También se estudió el efecto de la turbidez.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se implementó un diseño factorial 3x3x2 en donde los factores a estudiar fueron el pH, bioabsorbente y tiempo de agitación. En la Tabla 1, se presentan los resultados obtenidos para turbidez y cromo total para cada uno de los tratamientos. Se puede observar que los mejores tratamientos para turbidez fueron Y6>Y12>Y11>Y10. Mientras que los tratamientos Y9-Y12 no se detectó cromo total después de los tratamientos.

De acuerdo al análisis ANOVA realizado a la respuesta de turbidez muestra que solo el factor pH y bioabsorbente tienen significancia sobre la turbidez ( $P \leq 0.05$ ). El diagrama de Pareto para efectos estandarizados muestra que el factor pH (A) es el que tiene mayor significancia sobre la turbidez, seguido del bioabsorbente y sus interacciones. El factor tiempo de agitación no tuvo ningún efecto sobre la turbidez (Figura 1a). Por otra parte, para las medias ajustadas se puede observar que en la Figura 1b, el pH es el factor que tiene mayor efecto sobre la turbidez siendo el pH 7 el que presenta mayor efecto sobre esta. El factor bioabsorbente presenta poco efecto sobre la respuesta y se observa que la concentración de 3 g de moringa es el mejor efecto para la turbidez. Mientras tanto el factor tiempo de agitación presenta un efecto casi nulo sobre la turbidez.

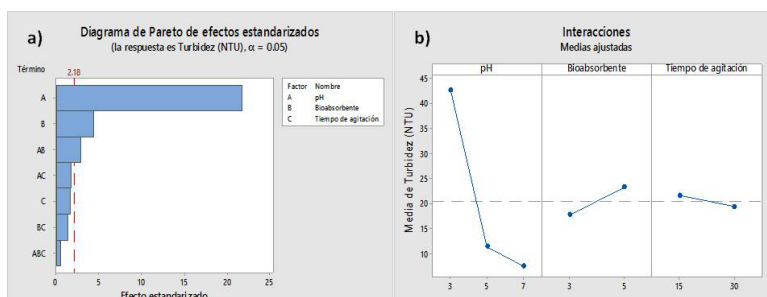


Figura 1: a) Diagrama de Pareto para Turbidez. b) Gráfica de efectos principales de los factores para turbidez.

Tabla 1: Caracterización de turbidez y cromo total para cada tratamiento.

Tratamiento	Factores			Resultados	
	pH	Bioabsorbente (g)	Tiempo de agitación (min)	Turbidez (NTU)	Cromo total (mg/L)
Y1	3	3	15	41.85 ± 3.32	2,828.5 ± 9.19
Y2	3	3	30	34.10 ± 6.93	2,822.5 ± 3.54
Y3	3	5	15	49.45 ± 6.58	2,823 ± 2.83
Y4	3	5	30	44.55 ± 0.07	2,791.5 ± 2.12
Y5	5	3	15	8.70 ± 2.12	2,803.5 ± 9.19
Y6	5	3	30	5.50 ± 1.42	2,802.5 ± 6.36
Y7	5	5	15	14.00 ± 2.55	2,802.5 ± 3.54
Y8	5	5	30	17.50 ± 0.42	2,795 ± 21.21
Y9	7	3	15	8.34 ± 0.13	n/d
Y10	7	3	30	7.72 ± 0.13	n/d
Y11	7	5	15	7.12 ± 0.05	n/d
Y12	7	5	30	7.11 ± 0.07	n/d

Para la remoción del cromo total el análisis ANOVA mostró significancia para la variable pH ( $P \leq 0.05$ ). El diagrama de Pareto para efectos estandarizados muestra que el factor pH (A) tiene mayor significancia sobre la remoción de cromo (Figura 2 a). En las medias ajustadas se puede apreciar que en la figura 2 b), el pH es el único factor que tiene efecto sobre el cromo, siendo el pH 7 el que presenta mayor efecto sobre esta respuesta. Así, el pH es el parámetro más importante que influye en la remoción del cromo total [9]. La dependencia de pH por parte del metal está relacionada en gran medida al tipo y estado iónico en solución del mismo, ya que en el rango de pH de 6 a 8, el cromo se encuentra en estado de oxidación III y sus especies predominantes son  $\text{Cr}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  y  $\text{Cr}(\text{OH})_4$  [10]. Estos resultados no son parecidos a los de Ghebremichel et al., [11], en donde ellos reportan una total de Cr(III) y Cr(VI) a pH 7 por el bioabsorbente. Lo anterior puede deberse a que presenten datos erróneos o el análisis de un agua sintética con cromo mientras que en este experimento se tomo un agua residual real. En este sentido, en el agua residual de tenería el ión metálico se encuentra acomplejado por la alta concentración de materia orgánica (residuos grasos de la piel vacuna) en el ambiente de la solución, lo hace difícil el proceso de coagulación [12].

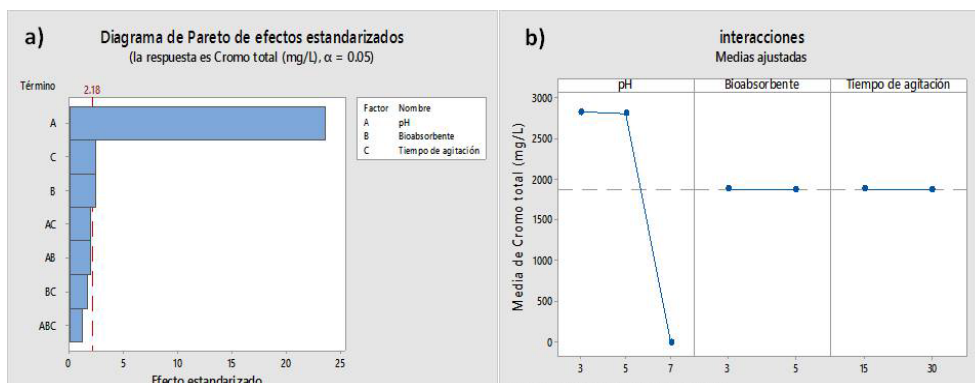


Figura 2: a) Diagrama de Pareto para cromo total. b) Gráfica de efectos principales de los factores para cromo total.

## CONCLUSIONES

Las semillas de *M. oleifera* no ejercen efecto en la remoción de cromo total en agua residual de tenerías. El pH es el único factor que presentó efecto en la remoción de cromo total.

## AGRADECIMIENTOS

A veranos UG, Investigación Científica. Al Laboratorio de Calidad del Agua de la División de Ingenierías UG, por apoyo en el uso del equipo de pruebas de jarras y turbidímetro. Al Laboratorio de docencia de la División de Ingenierías UG, por las facilidades prestadas en el espacio de trabajo, materiales, equipos y reactivos.

## REFERENCIAS

- [1]. Andrioli, E., Petry, L. & Gutterres, M. (2015). Environmentally friendly hide unhairing: enzymatic-oxidative unhairing as an alternative to use of lime and sodium sulfide. *Process Saf. Environ. Prot.* 93, 9-17.
- [2]. Sundar, V.J., Gnanamani, A., Muralidharan, C., Chandrababu, N.K. & Mandal, A.B. (2011). Recovery and utilization of proteinous wastes of leather making: a review. *Rev. Environ.Sci. Biotechnol.* 10, 151-163.
- [3]. Gutterres, M., Benvenuti, J., Fontoura, J. & Ortiz-Monsalve, S. (2015). Characterization of raw wastewater from tanneries. *J. Soc. Leather Technol. Chem.* (in press).
- [4]. Rao, J.R., Chandrababu, N.K., Muralidharan, C., Nair, B.U., Rao, P.G. & Ramasami, T. (2003). Recouping the wastewater: a wayforward for cleaner leather processing. *J. Clean. Prod.* 11, 591-599.
- [5]. Nadeem, M., Mohmood, A., Shahid, S.A., Shah, S.S., Khalid, A.M. & McKay, G. (2006). Sorption of lead from aqueous solution by chemically modified carbon adsorbents. *J. Hazard. Mater.* 138(3), 604-613.
- [6]. Alves, V.N., Neri, T.S., Borges, S.S.O., Carvalho, D.C. & Coelho, N.M.M. (2017). Determination of inorganic arsenic in natural waters after selective extraction using *Moringa oleifera* seeds. *Ecol. Engineer.* 106, 431-435.
- [7]. Baptista, A.T.A., Oliveira-Silva, M., Guttierres-Gomes, R., Bergamasco, R., Vieira, M.F. & Salcedo-Vieira, A.M. (2017). Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment. *Separat. And Purif. Technol.* 180, 114-124.
- [8]. De Paula, H.M., de Oliveira-Ilha, M.S., Sarmiento, A.P. & Andrade, L.S. (2018). Dosage optimization of *Moringa oleifera* seed and traditional chemical coagulants solutions for concrete plant wastewater treatment. *J. of Cleaner Product.* 174, 123-132.
- [9]. Goyal, N., Jain, S. C. & Banerjee, U. C. (2003). Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals. *Adv. Environ. Res.* 7, 311-319.
- [10]. Sharma, S. K., Petrusevski, B. & Amy, G. (2008). Chromium removal from water: a review. *J. Water Supply Res. Technol.—AQUA* 57(8), 541-553.
- [11]. Ghebremichel, K., Gebremedhin, N. & Amy, G. (2010). Performance on *Moringa oleifera* as a biosorbent for chromium removal. *Water Sci. & Technol.* 62, 1106-1111.
- [12]. Araújo, C.S.T., Rezende, H.C.R., Almeida, I.L.S., Coelho, L.M., Coelho, N.M., Marques, T.L. & Alves, V.N. (2013). *Intech* 227.