

EVALUACIÓN DE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS PARA DEPURAR AGUA CON COLORANTES TEXTILES

Luis Felipe Juárez-Santillán

Univerisdad Tecnológica de Gutiérrez
Zamora, Área académica de
Agrobiotecnología, Campus Gutiérrez
Zamora

Heriberto Esteban Benito

Instituto Tecnológico Superior de Naranjos,
Área de ciencias básica, Veracruz, México

Susana Astrid López García

Instituto Tecnológico Superior de Naranjos,
Área de ciencias básica, Veracruz, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: La electroquímica enfocada al tratamiento de agua, resulta un método eficiente y de fácil acceso. El principal objetivo de este trabajo fue Evaluar la eficiencia de métodos electroquímicos para la remoción de colorantes textiles en agua por medio de pruebas de electro-oxidación y electrocoagulación comparando su efectividad por medio de pruebas DQO. Para el desarrollo del trabajo se ocuparon dos reactores, en el proceso de electrocoagulación se emplearon electrodos de aluminio y para el proceso de electro-oxidación se utilizaron electrodos de grafito, en ambos casos se empleo una solución de colorante negro (1L) con una DQO de 230 mg/l, un gramo de sal y un voltaje de 5 V. Los resultados indican que ambos métodos son eficientes para la coagulación y eliminación del color negro, ya que los dos alcanzaron una remoción de DQO del 90.6 % (electrocoagulación) y 90.2 % (electro-oxidación). Estos tratamientos muestran una alta eficiencia para la remoción de colorantes, por lo que deben ser tomados en cuenta en el tratamiento de agua.

Palabras clave: Agua residual, electrocoagulación, electro-oxidación, electroquímica ambiental y depuración de agua.

INTRODUCCIÓN

En 2015, México tenía el 22.7% de agua contaminada y sólo el 47.5% cumplía las normas de descarga. La industria desecha 5.3 km³ de agua al año (Consejo consultivo del agua, 2015), los colorantes utilizados en la industria textil contribuyen en gran medida a la contaminación. Como ejemplo, para fabricar un pantalón de mezclilla, siendo uno de los más utilizados en la vida diaria, se necesitan 140 m³ por tonelada para darle el color azul característico (Arreguín, 2007).

En 2014 Cortazar realizó un estudio que demostró que, por cada 120 m³ de efluente hay

1100-1300 Hazen unidad que mide el color en el agua. Los colorantes en los efluentes incluyen fenoles, NaCl, Na₂SO₄, metales pesados, sulfuro y formaldehído; en el proceso de teñido hay un desprendiendo del pigmento de hasta el 30%. Según sea la estructura del colorante éste termina en el efluente.

El colorante contiene azoico nombrado así debido a la unión del grupo azo (-N=N-) a dos anillos aromáticos. Se utiliza en la industria textil, ya que cumple con los requisitos de fijación a las fibras y resistencia al lavado. (Sanz, 2014).

En 2018, el estudio realizado por Carvalho (2019), analizó el efecto mutagénico, las propiedades tóxicas y genotóxicas del colorante azoico, y este concluyó que, el compuesto de p-nitroanilina es el causante de los agentes tóxicos en la ropa, que en ocasiones puede tener un efecto nocivo para la salud; debido a que pueden causar cambios en el ADN. Sin embargo, existen otros colorantes que contienen iones como cloruros de amonio, sulfoamidas o sulfato de alquilbenceno que también pueden ser nocivos. El 90% de los colorantes localizados en el efluente no se eliminan en los tratamientos biológicos (Días *et al.*, 2007).

El método de coagulación es utilizado en tratamiento de agua, pues éste ayuda a la remoción de sólidos y partículas en el agua. Se basa en la desestabilización de las partículas mediante su neutralización; y con ayuda de ésta, las partículas se separan formando una aglomeración de las partículas coloides (Rastrepo, 2009). Una alternativa es la coagulación asistida electroquímicamente, o electrocoagulación (ELC), el cual es un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal en el agua residual, lo que posibilita la conversión en sólidos suspendidos y la separación del agua mediante técnicas convencionales, tales

como la decantación, la flotación y la filtración (Barrera, 2014).

También existe la electro-oxidación (EO) la cual se puede subdividir en dos categorías: (i) oxidación anódica directa; y (ii) oxidación indirecta usando oxidantes formados anódicamente (cloro, hipoclorito, peróxido, ozono, reactivo de Fenton, peroxodisulfato) (Monge et al., 2018). En este método se degradan partículas por medio de una reacción entre la corriente que pasa por los electrodos y las sales suministradas al sistema, generando cloruros, que al contacto con las partículas que componen el colorante, éste oxida a las partículas de materia orgánica, en este caso a los pigmentos (Linares, 2011)

Por lo anterior se puede entender que al oxidar la materia orgánica localizada en el efluente se da como resultado dióxido de carbono y agua por lo que se interpreta que la demanda química de oxígeno (DQO) se ha disminuido (Linares, 2011).

Se usarán electrodos de aluminio y grafito en agua con colorante textil comercial para la remoción de colorante por pruebas de electrocoagulación y electro-oxidación, lo que favorecerá a la disminución de la demanda química de oxígeno en el agua.

Evaluar la eficiencia de métodos electroquímicos para la remoción de colorantes textiles en agua por medio de pruebas de electro-oxidación y electrocoagulación comparando su efectividad por medio de pruebas DQO

- Evaluar la eficiencia de los métodos de electro-oxidación y electrocoagulación en la remoción de colorantes en agua residual mediante análisis DQO
- Realizar cinéticas de oxidación y coagulación de un colorante comercial en ambos tratamientos electroquímicos para determinar que método tiene mayor eficiencia.

Los procesos de ELC y ELO, deben ser

más estudiados y ser implementados en los tratamientos de agua debido al casi nulo uso de químicos.

METODOLOGÍA

Se preparó una solución madre con una concentración de 5 g/L de un colorante comercial tono negro (marca Caballito), a partir de la cual se realizaron dos disoluciones de 500 mL con una concentración inicial de 250 mg de colorante/L. A la primera se le añadieron 1 g de NaCl (electrolito) y se le introdujeron un par de electrodos de aluminio, que consistían en placas de 5X5 cm sujetas a un par de caimanes, este fue el reactor de electrocoagulación; a la segunda se le añadieron 1 g de NaCl (electrolito) y se le introdujeron dos pares de electrodos de grafito, sujetos a un par de caimanes cada uno. En ambos reactores los electrodos fueron conectados a un voltaje de 5 V y una separación de 0.5 cm. El esquema experimental y reacciones se presentan en la figura 1 y 2.

En el tiempo que duraron las cinéticas, se tomaron muestras por duplicado (5 ml), incluyendo un blanco, a diferentes tiempos e igual se determinó el pH. La eliminación del colorante se monitoreó como DQO, utilizando la adaptación del método EPA 410.4 (HANNA instruments). Las lecturas se realizaron utilizando un fotómetro (HANNA, 83099, E.U.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 y 2, se muestran las diferentes reacciones que ocurren en cada reactor, en el reactor de electrocoagulación se observa que la formación del hidróxido de aluminio es la parte fundamental para que ocurra la reacción, mientras que en el reactor de electro-oxidación la presencia de cloro gas reacciona tanto con la sosa formada como con el medio acuoso dando lugar a la presencia de hipoclorito, agente responsable de la oxidación

del colorante.

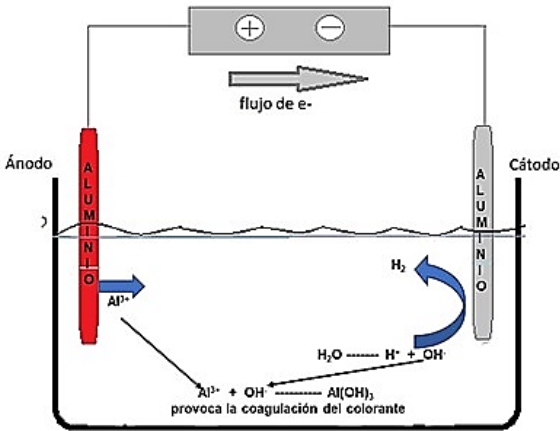


Figura 1. Diagrama de reacciones EC

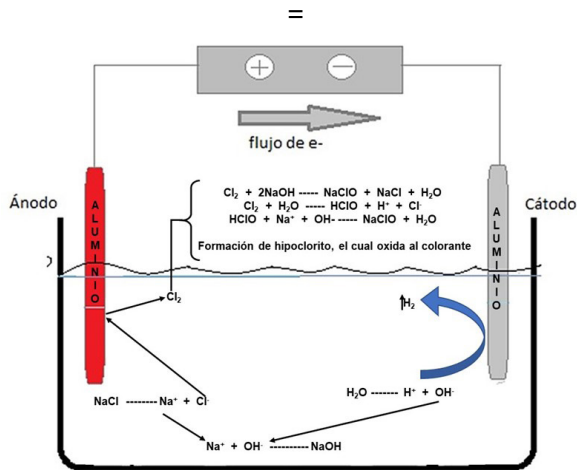


Figura 2. Diagrama de reacciones ELO

logra en un menor tiempo la disminución de DQO, el proceso de electro-oxidación no genera residuos.

Electrocoagulación				Electro-oxidación			
Muestra	t (min)	pH	DQO (mg/L)	Muestra	t (min)	pH	DQO (mg/L)
ELC-0	0	6.5	230.0	ELO-0	0	6.5	230.0
ELC-1	3	6.5	195.0	ELO-1	35	6.5	156.0
ELC-2	5	7.0	175.0	ELO-2	70	7.0	70.0
ELC-3	6	7.5	62.0	ELO-3	105	7.0	25.0
ELC-4	7	8.0	21.5	ELO-4	150	7.0	22.5

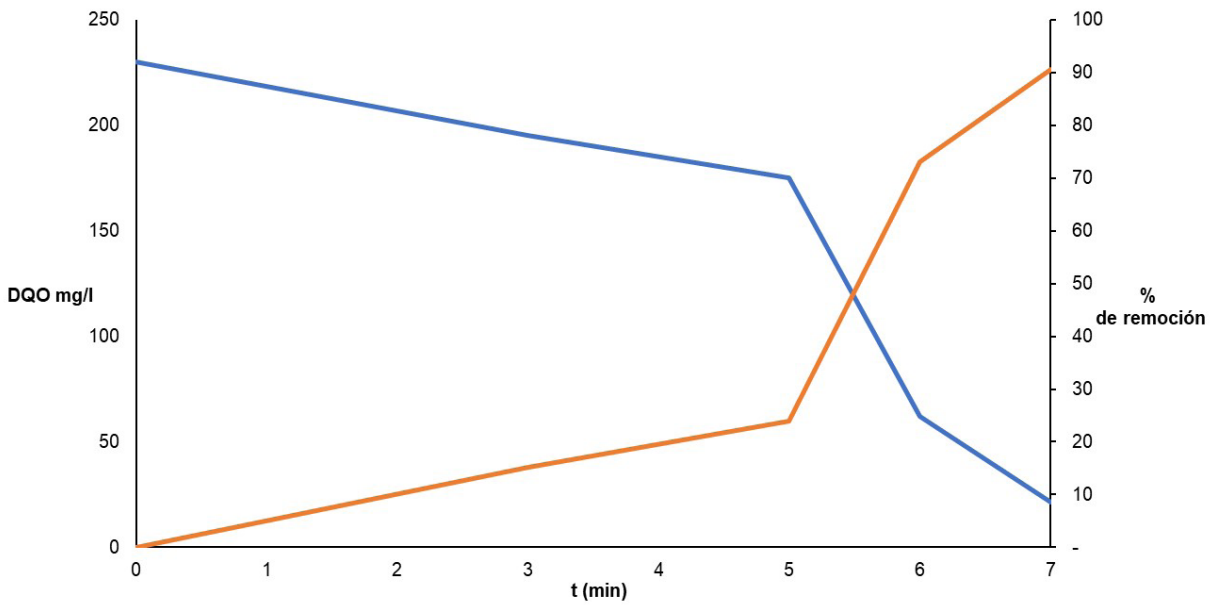
ELC = Electrocoagulación y ELO = electro-oxidación

Tabla 1. Datos obtenidos durante el proceso

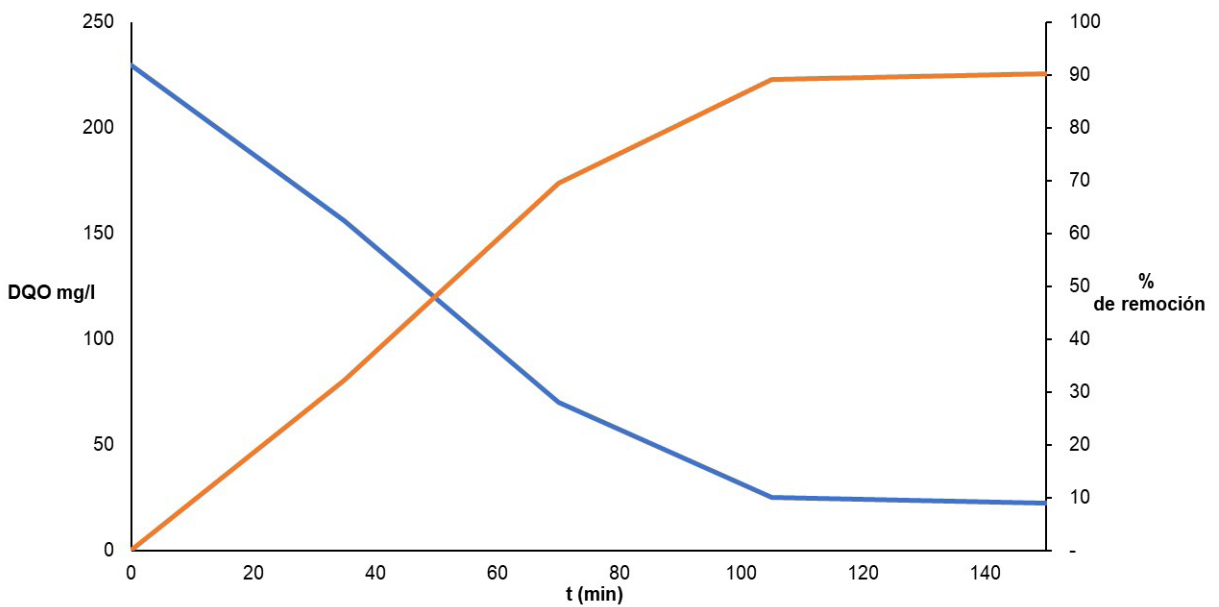
Los datos obtenidos demuestran la efectividad de los métodos para la eliminación del colorante. La diferencia de tiempos se debe a la naturaleza de cada reacción en ELC se genera un precipitado y en ELO se hace una oxidación del compuesto orgánico presente, una precipitación en términos de tiempo es más rápida respecto de una oxidación total, ya que en la degradación se van generando subproductos, los cuales se tiene que ir eliminado de forma gradual y no en un solo paso como lo es la formación de precipitados.

Los resultados de la cinética de reacción de los tratamientos de electrocoagulación y electro-oxidación se muestran en las figuras 1 y 2. La DQO inicial en ambos es de 230 mg/L, conforme avanza el tiempo se observa la disminución de la DQO, teniendo una eficiencia de remoción desde los primeros minutos, la remoción al final del tratamiento es de 90.7% y 90.2% correspondientemente (Grafica 1 y 2).

En la Tabla 1, se presentan los parámetros evaluados durante los dos procesos electroquímicos. En cuanto al pH se observa que este aumenta en el proceso de electrocoagulación, hasta llegar a la alcalinidad (8.0), mientras que en el proceso de electro-oxidación lo mantiene en la neutralidad (7.0); en cuanto a la capacidad de remoción, ambos presentan concentraciones similares (21.5 y 22.5 mg/l). El proceso de electrocoagulación logra la remoción del colorante en un menor tiempo respecto del de electro-oxidación (7 min y 150 min, respectivamente). Dentro de las principales diferencias entre uno y otros es que mientras el proceso de electrocoagulación



Grafica 3. Comparación de DQO con porcentaje de remoción VS el tiempo, en el proceso de electrocoagulación



Grafica 4. Comparación de DQO con porcentaje de remoción VS el tiempo, en el proceso de electro-oxidación

Junto con lo anterior se percibe que el comportamiento de la cinética es similar aún con diferencia de electrodos y por ende de las reacciones. El valor de DQO tiene una reducción drástica en los últimos minutos. En el caso de la ELC la separación tuvo un menor tiempo, pero, la sedimentación tardó

30 minutos después de retirar la fuente de voltaje, la ELO se mantuvo con cambios constantes, sólo que los cambios de coloración no demostraban una remoción total dado que se continuó con una coloración rojiza sin sólidos. Una vez realizada la filtración de sólidos en la ELO la coloración del agua es

amarilla suave.

Elabbas et al. (2016), realizaron un tratamiento de un agua residual de tenería, logrando una remoción de DQO del 81 %. Un efluente de fabricación de aceite de palma, fue tratado por electrocoagulación obteniendo un porcentaje de remoción de DQO del 75.4 % (Bashir et al. 2016). Otro trabajo realizado con un Agua de lavado de industria de pinturas, empleando igual proceso de electrocoagulación lograron una disminución en DQO del 69.7 % (Rajaniemi et al., 2019); estos estudios muestran buena eficiencia en cuanto a disminuir la DQO de los efluentes tratados, pero si los resultados al momento de compararlos con los de este trabajo, son menores, ya que en este caso se obtuvieron valores del 90 % en la disminución de DQO. Es importante mencionar que en todos lo caso se empelaron electrodos de platino.

Nidheesh et. al. (2020), realizaron un trabajo con agua residual industrial, emplearon electrodos de grafito un pH de 7.7, 4 V y 1g/l de sal, logrando una disminución de DQO del 55 % en una hora; al comparar estos resultados con los aquí obtenidos, ambos son similares, ya que en una hora aproximadamente se logró una remoción de DQO del 50 % aproximadamente, cercano al reportado.

Rayan et. al. (2021) investigaron que electrocoagulación y electro-oxidación empleados de forma secuencial eliminan el 74 % de DQO, es importante mencionar que el agua tratada contenía antibióticos y tensoactivos una matriz más compleja que la empleada en este estudio, es por ellos que el trabajo realizado muestra una mayor eficiencia que el realizado por Rayan.

CONCLUSIONES

Se comprobó la degradación del colorante y la obtención de la cinética de reacción. Ambos métodos actúan de forma similar, el proceso

de electro-oxidación tiene como ventaja una alta remoción sin residuos. Las desventajas de este proceso es el tiempo de reacción prolongada. A pesar de esto se piensa que es n mejor proceso ya que en comparación de la electrocoagulación los sólidos restantes de la filtración deben ser tratados lo cual implica otros pasos extras que no se realizan el otro sistema.

REFERENCIAS

- Arreguín, F., López, M., 2007. Agua virtual en México. *Ingeniería Hídrica en México*, Vol. XXII, no, 121-132. http://cenca.imta.mx/pdf/agua_virtual.pdf
- Barrera, C., 2014. Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales. Reverté Ediciones, México D. F., 2014. 18-27
- Brambilla, C. M., Hilario García, AL., Rabaioli da Silva, F., Taffarel, SR., Grivicich, (2019). Amido Black 10B, un colorante azoico ampliamente utilizado, causa daño en el ADN de las células indicadoras pro y eucariotas. DOI: 10.1016 / j.chemosphere.2018.11.026
- Consejo consultivo del agua, 2015. *Aguas en el mundo* <https://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/agua-en-mexico>
- Cortázar, A., Coronel, C., Escalante, A. y González, C., 2014. *Contaminación generada por colorantes de la industria textil* <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>
- Dias, A. D., Sampaio, A. y Bezerra, R. M., 2007. Environmental applications of fungal and plant systems: decolourisation of textile wastewater and related dyestuffs. En *Environmental Bioremediation Technologies* (Editores Singh S.N. y Tripathi R.D.) Springer Berlin Heidelberg, 445-463.
- Linares, I., Martínez, V., Barrera, C., Pavón, S. y Bernal, L., 2011. Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos electroquímicos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 2, pp. 21-36.
- Monge, B. S., Silva, A. M. T. y Bengoa, Ch., 2018. Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. CYTED. España. p 20.
- Restrepo, H. A., 2009. Evaluación del proceso de coagulación- floculación de una planta de tratamiento de agua potable http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Sanz, A., 24 de septiembre de 2014. La industria de los colorantes y pigmentos. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>
- Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M. N., Lopicque, F., Leclerc, J. P., 2016. Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: influence of the quality of aluminium used for the electrode. *J. Hazard Mater.* 319, 69-77.
- Bashir, M. J. K., Mau, H. T., Jun W. L., Choon, A. N., Abu, S. S., 2016. Polishing of treated palm oil mill effluent (POME) from ponding system by electrocoagulation process. *Water Sci. Technol.* 73, 2704-2712.
- Rajaniemi, K., Raulio, M., Tuomikoski, S., Lassi, U., 2019. Comparison of batch and novel continuous electrocoagulation processes in the treatment of paint industry wash water. *Desalin. WATER Treat.* 170, 394-404.
- Nidheesh, P. V., Kumar, A., Syam-Babu, D., Scaria, J., M. y Kumar, S. M., 2020. Treatment of mixed industrial wastewater by electrocoagulation and indirect electrochemical oxidation. *Chemosphere*, 251, 126437
- Ryan, R. D., Maher, K. E., Heffron, J., Mayer, K. B. y Patrick J. McNamara, J. P., 2021. Electrocoagulation-electrooxidation for mitigating trace organic compounds in model drinking water sources. *Chemosphere*, 273, 129377.