



## **Aplicación de un proceso de electrocoagulación en modo continuo en el tratamiento de agua residual de un ingenio azucarero**

J. J. Ríos Morán<sup>1</sup>, J. A. Cobos Murcia<sup>2</sup>, L. A. Estévez-Sánchez<sup>3</sup>, N. Gutiérrez Casiano<sup>1</sup>, E. Hernández Aguilar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas Orizaba, prolongación de oriente 6 No. 1009, Orizaba, Veracruz, C.P 94340

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ICBI Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Ciudad del conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo K.m 4.5 Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo C.P 42184

<sup>3</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológico Agropecuarias, Calle Josefa Ortiz de Domínguez s/n, Col. Centro, Peñuela municipio de Amatlán de los reyes, Veracruz, C.P 94945  
Email: [eduhernandez@uv.mx](mailto:eduhernandez@uv.mx)

### **RESUMEN**

La agroindustria azucarera es la de mayor consumo de agua en el sector industrial en México, por lo que la generación de aguas residuales provenientes de sus procesos es elevada. La electrocoagulación es un proceso con gran potencial de aplicación en esta industria debido a los resultados que puede ofrecer. El presente trabajo evaluó un diseño experimental <sup>3</sup>, siendo los factores el tiempo de retención hidráulico (TRH) e intensidad de corriente siendo las variables de estudio la DQO, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos. El proceso de electrocoagulación se aplicó en un reactor Imhoff con un volumen de 20 L en modo de operación continuo utilizando 15 electrodos de aluminio. El análisis estadístico mostró significancia en ambos factores para las variables de respuesta estudiadas teniendo un valor “p” inferior al 0.05. Se obtuvieron resultados de un 69% de remoción máxima de DQO utilizando una intensidad de corriente de 1.5 A con un TRH de 120 min. Para turbidez se obtuvo una remoción máxima de 81.3% utilizando una intensidad de corriente de 5 A con un TRH de 150 min. Para sólidos totales se obtuvo un 61.3% de remoción máxima utilizando una intensidad de corriente de 5 A con un TRH de 120 min. En el caso de sólidos suspendidos se obtuvo un 96.4% de remoción máxima utilizando 5 A con un TRH de 120 min. Finalmente, para sólidos disueltos, la remoción máxima obtenida fue de 55% con una intensidad de corriente de 1.5 A y un TRH de 120 min.

**Palabras Clave:** Aguas residuales, Electrocoagulación, Normas Oficiales Mexicanas.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El tratamiento de efluentes industriales por métodos electroquímicos con ayuda de nuevas formas de obtención de energía eléctrica renovable como las celdas solares o energía eólica se han posicionado como nuevas tecnologías aplicables al sector industrial. El tratamiento electroquímico se basa en un mecanismo en el que se aplica corriente eléctrica al electrodo conjugado [1].

La disolución del material del electrodo se produce debido a la corriente, que cuando se aplica en el material del ánodo del circuito externo, se desintegra y el material del cátodo favorece a completar el circuito interno [2]. El tratamiento electroquímico se puede realizar tanto en lotes como en modo continuo, pero la eficacia del tratamiento depende del tiempo de residencia, las condiciones de mezcla, el caudal y la concentración de contaminantes [3]. Este trabajo aplica esta tecnología en aguas residuales de la industria azucarera, intentando remover la DQO no soluble presente en estas aguas residuales.

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se muestrearon aguas residuales de un ingenio azucarero y se caracterizó en base las normas que rigen los parámetros de calidad del agua para descargas de aguas residuales a cuerpos receptores en México, están legisladas por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de éstas se desprenden las técnicas para la evaluación de los parámetros de la calidad del agua, dichas técnicas se encuentran bajo el esquema de Normas Mexicanas (NMX) vigente para los parámetros de: DQO, turbidez, ST, SST y SDT.

El proceso de electrocoagulación se aplicó en un reactor Imhoff con un volumen de 20 L en modo de operación continuo, utilizando 15 electrodos de aluminio en conexión monopolar en paralelo. Se aplicó un diseño experimental  $3^2$ , siendo los factores el tiempo de retención hidráulico (TRH) e intensidad de corriente siendo las variables de estudio la DQO y turbidez.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el muestreo el agua se encontró más ácida con un valor de 4.72. Los resultados obtenidos de ST en el primer y tercer fueron de 3435 mg/L y 2380 mg/L respectivamente mientras que en el segundo muestreo fue mayor con un valor de 4490 mg/L y ninguno de ellos cumple con el valor máximo permisible el cual es de 1000 mg/L.

En el caso de SST se obtuvieron valores de 1010 mg/L en el primer muestreo, 910 mg/L para el segundo muestreo y 1110 mg/L en el tercer muestreo y para SDT se obtuvieron en el primer y segundo muestreo valores de 2325 mg/L y 3380 mg/L y en el tercer muestreo se obtuvo un valor de 1270 mg/L y ninguno de los valores obtenidos cumplen con la normatividad la cual tiene como límite máximo 150 mg/L.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de las aguas muestreadas en el Ingenio Azucarero

Muestra	DQO	NTU	Carb Total	ST	SS	SD
1	5950	109	912.7	3435	1010	2325
2	5500	110	744.5	4490	910	3380
3	1966	92.2	504.5	2380	1110	1270

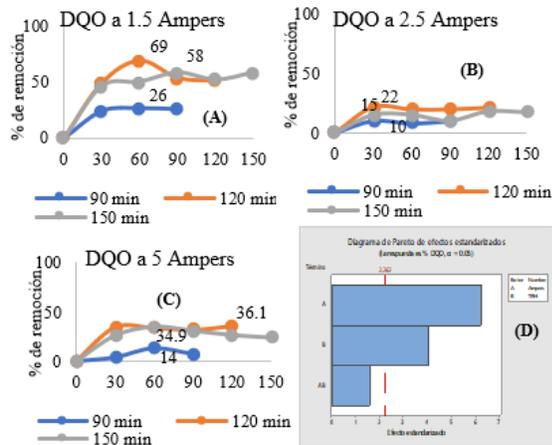
En la Figura 1 se muestran las cinéticas de remoción de DQO posterior al proceso de EC, en la gráfica 15 (A) se observa que en los experimentos utilizando 1.5 A en un tiempo de 90 min se logró alcanzar en promedio un 26 % de remoción máxima a los 60 min, para el de 120 min se muestra que en promedio su remoción máxima fue de 69% y se encontró igual a los 60 min, mientras que para el experimento de mayor tiempo se obtuvo su remoción máxima de 58% hasta los 90 min.

Mediante el análisis de varianza se pudo determinar que el factor del tiempo de retención hidráulico en relación con la DQO (Valor  $p = 0.003$ ), es un factor que si afecta la remoción del parámetro DQO al igual que el factor de intensidad de corriente (Valor  $p = 0.000$ ). Sin embargo, el análisis indica que la interacción de los factores, tiempo de retención e intensidad de corriente (Valor  $p = 0.146$ ) no afecta a la remoción de la DQO, por lo que ambos factores tienen

La Tabla 1 muestra la caracterización fisicoquímica del agua residual estudiada. Todos los parámetros estuvieron por encima de los límites máximos permisibles de la norma oficial mexicana. Los resultados de la DQO fue un máximo de 5950 mg/L en el primer muestreo, en el segundo se obtuvo un valor de 5500 mg/L y el valor mínimo fue de 1966 mg/L obtenido en el tercer muestreo, en este caso se obtuvieron resultados que sobrepasan los límites máximos permisible el cual es de 500 mg/L al igual que la turbidez el cual no puede ser mayor a 5 NTU para su descarga que se obtuvieron valores de 109, 110 y 92 NTU.

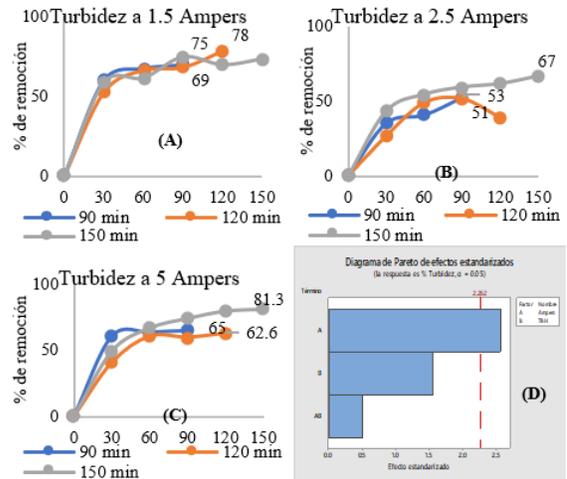
Los valores obtenidos de pH del primer y segundo muestreo se encuentran en el rango permitido por la normativa para descargas de aguas residuales industriales ya que se encuentran entre 6-9 el cual es el rango máximo permisible, mientras que en el tercer una influencia en la remoción de DQO solo de manera individual.

Esto se aprecia notablemente en la Figura 1 (D), el cual es el diagrama de Pareto que muestra los efectos de cada factor estudiado y en donde se aprecia la significancia de ambos factores de manera individual y de la interacción.



**Figura 1.** Cinéticas de remoción de la Demanda química de oxígeno a (A) 1.5 A, (B) 2.5 A, (C) 5 A, (D) Diagrama de Pareto de los factores estudiados con relación a la DQO

La Figura 2 muestra las cinéticas de remoción de turbidez, en la Figura 2(A) podemos analizar que el promedio del porcentaje máximo de remoción de los experimentos utilizando 1.5 A fue de 78 % a los 120 min, para los experimentos de 90 min, el promedio máximo de remoción fue de 69% a los 90 min y para el experimento de 150 min se obtuvo en promedio un 75% de remoción máxima a los 90 min.



**Figura 2.** Cinéticas de remoción de turbidez a (A) 1.5 A, (B) 2.5 A, (C) 5 A, (D) Diagrama de Pareto de los factores estudiados en relación con la Turbidez

Mediante el análisis de varianza se pudo determinar que el factor del tiempo de retención hidráulico en relación con la turbidez (Valor  $p = 0.154$ ) es un factor que no es significativo para la remoción de la turbidez mientras que la intensidad de corriente (Valor  $p = 0.031$ ) si es significativo a la remoción de la turbidez. La interacción de ambos factores, tanto el tiempo de retención hidráulico e intensidad de corriente (Valor  $p = 0.623$ ) no es significativo para la remoción de la turbidez. Esto se aprecia en la Figura 2(D) que es el diagrama de Pareto donde se aprecia que la intensidad de corriente es el único valor que resulta ser significativo para la remoción de turbidez.

#### 4. CONCLUSIONES

La caracterización del agua residual nos demostró que tiene valores por encima de lo permitido por las normas vigentes. El proceso de electrocoagulación tuvo resultados de 69% de remoción de DQO, debido a que parte de este parámetro monitoreado es soluble, y no puede ser removido por electrocoagulación. Sin embargo, la turbidez mostró remociones de hasta el 81% de remoción mostrando la viabilidad de este método para la eliminación de materiales generadores de turbidez en las aguas residuales.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONACYT por la beca otorgada a Luis Alberto Estévez Sanchez a través del Programa de Maestría en el Manejo y Explotación de los Agrosistema de la Caña de Azúcar con CV 1079036.

## REFERENCIAS

[1] Martínez-Huitle, C. A., Rodrigo, M. A., Sirés, I. & Scialdone, O., 2015. *Single and Coupled Electrochemical Processes and Reactors for the Abatement of Organic Water Pollutants: A, Critical Review*. Chemical Reviews, 115(24).

[2] S. Aoudj, A. Khelifa, N. Drouiche, R. Belkada, D. Miroud, 2015. *Simultaneous removal of chromium (VI) and fluoride by Electrocoagulation Electroflotation: Application of a hybrid Fe-Al anode*. Chemical Engineering Journal

[3] Radjenovic, J. & Sedlak, D. L., 2015. Challenges and Opportunities for Electrochemical Processes as Next Generation Technologies for the Treatment of Contaminated Water. Environmental Science & Technology, 49(19).