

Tratamiento de aguas residuales de origen químico mediante electrocoagulación

Treatment of wastewater from chemical origin by electrocoagulation

Jhon Jairo Feria Diaz¹, Andrea Estefanía Escobar Aguado², Jhon Antonio Martinez³

¹ *Magister en Ciencias Ambientales, Ingeniero Sanitario. Docente Interno e investigador Grupo de Calidad de Aguas y Modelación Hídrica y Ambiental, CAMHA, de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. Montería Colombia. jhon.feria@gmail.com – jhon.feria@upb.edu.co*

² *Ingeniera Sanitaria y Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. ing.andreaescobar92@gmail.com*

³ *Ingeniero Sanitario y Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Montería. ingeniero.john.m@gmail.com*

Fecha de recepción: 09/05/2014 Fecha de aceptación del artículo: 21/06/2014

Resumen

Se evaluó la electrocoagulación como técnica de tratamiento para aguas residuales de un laboratorio de análisis químico, de alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbidez. Se aplicó un diseño de experimento factorial de 3² aleatorizado, con tres factores y dos niveles (Voltaje y distancia entre electrodos). Se lograron eficiencias de remoción de DQO superior al 60% en los ensayos con electrodos separados a 1,0 cm y a 4,0 cm, independiente del voltaje aplicado. Sin embargo, la eficiencia en la remoción de los Solidos Suspendidos Totales (SST) y la Turbidez no fue adecuada, en algunos ensayos la muestra tratada tenía mayor concentración que la muestra inicial. La electrocoagulación como técnica para el tratamiento de aguas residuales de origen químico es adecuada para la oxidación y remoción de la DQO, pero su aplicación puede aumentar los SST en el agua tratada.

Palabras clave

Agua residual, DQO, Eficiencia de remoción, Electrocoagulación, SST.

Abstract

Treatment of Wastewater from a chemical analysis laboratory with high Chemical Oxygen Demand (COD) and high turbidity with electrocoagulation technique was evaluated. A series of experiments of 3² factorial design randomized with three-factor and two levels (voltage and distance between electrodes) was applied. Removal efficiencies of COD above 60% in trials with separate electrodes at 1.0 cm and 4.0 cm were achieved. However, the removal efficiency of Total Suspended Solids (TSS) and Turbidity were not adequate, in some trials the treated sample had a higher concentration than the initial sample. Electrocoagulation as technique for wastewater treatment from chemical origin is suitable for oxidation and removal of COD, but its application may increase the SST in treated water.

Keywords

COD, Electrocoagulation, Removal efficiency, TSS, Wastewater.

1. Introducción

Hoy en día la humanidad enfrenta la que quizás sea una de las mayores problemáticas del siglo XXI, la necesidad de proveer agua para una creciente población mundial. Esta necesidad, crea el reto de investigar y adaptar tecnologías que permitan la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico, cuya calidad se ha deteriorado por la descarga de residuos peligrosos, de materia orgánica y la presencia de microorganismos patógenos, aportados por algunos tipos de industrias y servicios (Barba, 2002). La electrocoagulación, electroflotación y electrodecantación son tecnologías que se presentan como alternativas para el tratamiento de las aguas residuales y ofrecen ventajas competitivas frente a las tecnologías tradicionales (Rajeshwar *et al.*, 2000).

La electrocoagulación se puede definir como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados por su bajo costo, alta efectividad y disponibilidad en el mercado (Restrepo *et al.*, 2006). La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado reduce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados (Meléndez *et al.*, 2012). La técnica de electrocoagulación ha sido utilizada en la industria de papel, láctea, lavandería y aguas residuales domésticas mostrando resultados que han tenido gran eficiencia y popularidad en la remoción de contaminantes (Prieto *et al.*, 2012). Adicionalmente, esta tecnología trae beneficios como: se requiere de equipos simples, fácil y de

menores costos para su operación (Mollah *et al.*, 2001), se evita el uso de agentes químicos por lo tanto no se presenta una contaminación secundaria (Gilpavas, 2008), las burbujas producidas mediante la electrolisis transporta los contaminantes a la superficie facilitando su remoción, además el paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas pequeñas de contaminante incrementando la coagulación (Bayramoglu *et al.*, 2003). Algunas desventajas de la electrocoagulación son: los electrodos necesitan ser reemplazados con regularidad debido a su rápido deterioro, altos costos por consumo de energía, formación de óxido en el cátodo que disminuye eficiencia del proceso y requerimientos de una alta conductividad (Mollah *et al.*, 2001).

El propósito de éste trabajo fue evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes (DQO, SST y Turbiedad) presentes en el agua residual de un laboratorio de análisis químicos mediante la técnica de electrocoagulación y definir el comportamiento del proceso a partir del voltaje aplicado y la distancia entre electrodos.

2. Metodología

Se utilizó agua residual del laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), en Montería, Colombia. La remoción de DQO se determinó midiéndola antes y después de cada tratamiento, mediante el método espectrofotómetro, con un equipo marca Hach dr2800. Para la turbiedad se utilizó el método turbidimétrico con un equipo marca Hanna Instrument-hi 93703, mientras que para los sólidos suspendidos totales se utilizó el método gravimétrico. Todos los ensayos se realizaron de acuerdo con los procedimientos establecidos por el Standard Methods (APHA, 2005; Arango *et al.*, 2007).

Los ensayos de electrocoagulación se hicieron por lotes, en una celda de 1,4 litros provista de 2 electrodos (uno de hierro y otro de aluminio). Los electrodos estaban dispuestos paralelamente y conectados a una fuente de voltaje con control, para corrientes desde 0,0A a 1,5A. En la Figura 1, se muestra el montaje realizado.



Figura 1. Montaje del proceso de electrocoagulación.

En la parte experimental se aplicó un diseño factorial de 3^2 aleatorizado, es decir, compuesto por 3 factores evaluados cada uno de ellos en 2 niveles: voltaje aplicado a la celda (10 volt.; 20 volt. y 50 volt.) y distancia entre los electrodos (1,0 cm; 2,0 cm y 4,0 cm), que permitió investigar el efecto individual y la interacción entre la DQO, SST y la Turbidez. Se hizo un análisis estadístico de tipo descriptivo haciendo énfasis en la ANOVA de los datos y el coeficiente de variación de los valores obtenidos en el proceso electroquímico, utilizando Excel 2010. Los valores asignados a las variables, se establecieron a partir de investigaciones realizadas para la técnica electroquímica, donde se obtuvieron resultados positivos en la remoción de contaminantes (Meléndez *et al.*, 2012).

3. Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra las características fisicoquímicas iniciales de la muestra tratada de agua residual.

En la caracterización del agua residual problema, se observó una fuerte concentración de DQO y una débil concentración de DBO que de acuerdo con la relación DQO/DBO igual a 258,70 permite clasificar la muestra como de difícil tratabilidad (Melcaft y Eddy, 1995). El pH inicial es muy ácido, sin

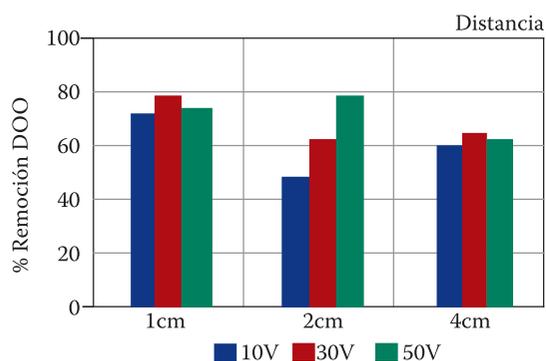
embargo, según estudios realizados para la electrocoagulación, el pH aumenta durante éste proceso, favoreciendo la eficiencia de remoción de contaminantes (Bayramoglu *et al.*, 2003). La conductividad está en un rango que permite la fase de electrólisis y la formación de precipitado en la celda electrolítica (Prieto *et al.*, 2012), lo que favorece al proceso de electrocoagulación.

La Figura 2a muestra las eficiencias logradas en la remoción de DQO, donde el voltaje y la distancia entre los electrodos influyeron en los valores hallados. Sin embargo, para los ensayos con distancia entre electrodos de 1,0 cm y 4,0 cm, el voltaje no representó una marcada influencia en las eficiencias, logrando remociones superiores al 60%, que es un valor muy sensible e importante en contaminantes químicos. Por otro lado, en el ensayo con distancia entre electrodos de 2,0 cm, se observó que la eficiencia de remoción es directamente proporcional al voltaje aplicado.

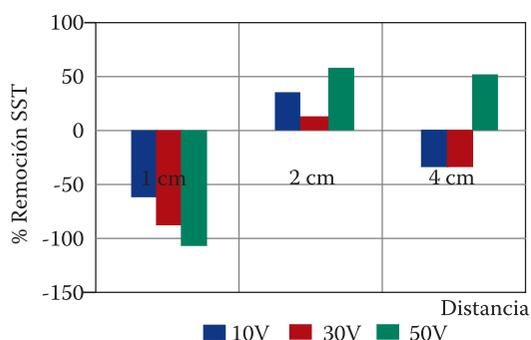
En la Figura 2b y 2c, se observaron datos atípicos en los porcentajes de remoción de los sólidos suspendidos totales y de la turbiedad, respectivamente, dando incluso remociones negativas muy altas. Esto es quizás debido a las reacciones del ánodo y el cátodo en la celda electroquímica, que desestabilizan los contaminantes suspendidos, emulsionados o disueltos en el medio acuoso y propician la formación de agregados en los contaminantes, partículas sólidas no coloidales, que ocasionan el aumento de los SST y de la Turbiedad (Prieto *et al.*, 2012; Meléndez *et al.*, 2012). En la electrocoagulación, los iones metálicos dados por la oxidación del ánodo (Al), desestabilizan la carga de las partículas contaminantes de la muestra y generan la formación de agregados en los contaminantes, ocasionando así el aumento de los SST y la Turbiedad (Mollah *et al.*, 2004), esto podría explicar el comportamiento observado de los SST y de la Turbidez. En general,

Tabla 1. Características iniciales de la muestra de agua residual del laboratorio de Calidad de Aguas, UPB, Montería

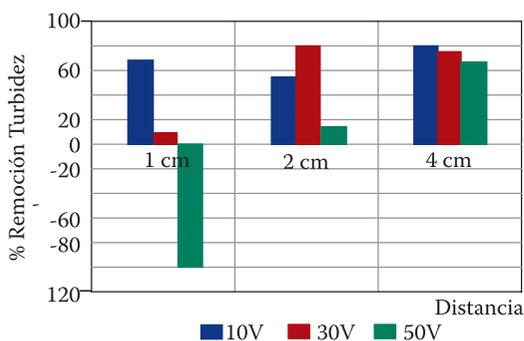
DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Turb. (UNT)	Cond.(US/cm)	pH (un)
4589,00	25,00	17,74	233,00	45,45	1,15



a)



b)



c)

Figura 2. Porcentajes de Remoción de:
a) DQO, b) SST y c) Turbiedad

la Figura 2 muestra que la remoción de DQO y de Turbidez en las muestras del ensayo con distancia entre electrodos de 4,0 cm, fue más consistente que en los demás ensayos.

La Tabla 2 muestra que el valor crítico para F (5,14) es mayor al del p-valor ($\alpha \leq 0,05$), lo que indica que el proceso de electrocoagulación planteado es efectivo para disminuir la carga de DQO en aguas residuales de origen químico.

La Tabla 3, muestra los resultados de remoción de DQO en función de las variables asumidas (voltaje y distancia entre los electrodos). La distancia entre electrodos más confiable fue de 4,0 cm debido a que el coeficiente de variación solo fue del 3,0%, indicando que los datos son homogéneos con respecto a su media y la remoción de DQO fue independiente al voltaje aplicado.

Los resultados más variables de remoción de contaminantes se obtuvieron para la distancia entre

Tabla 3. Valores de los ensayos de remoción de DQO con las variables

Voltaje (v)	Porcentaje de eficiencia (%)		
	Distancia 1,0 cm	Distancia 2,0 cm	Distancia 4,0 cm
10	71,82%	48,00%	60,00%
30	78,40%	62,13%	64,10%
50	74,00%	78,00%	61,92%
Media	74,74%	62,71%	62,01%
Desviación Estándar	0,03351835	0,1500841	0,0205137
Coef. de variación	4%	24%	3%

Tabla 2. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de DQO*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	307,35	153,67	1,91	0,22	5,14
Dentro de los grupos	481,39	80,23			
Total	788,74				

*Evaluado con p-valor $\leq 0,05$

Tabla 4. Coeficiente de correlación de DQO.

	1 cm	2 cm	4 cm
10 v	0,35	0,29	0,43
30 v	0,99	0,98	
50 v	0,46		

electrodos de 2,0 cm, con un coeficiente de variación del 24%.

En la Tabla 4 se puede observar que el coeficiente de correlación de la DQO, para la distancia entre los electrodos en 1,0 cm con 30v, presentó un valor muy cercano a 1,0 (0,9994) lo que indica una fuerte correlación entre estas variables. Por otra parte, aunque para la distancia de 2,0 cm entre electrodo con 50v la correlación fue alta (0,98789) no se puede afirmar que sea confiable, debido al alto valor del coeficiente de variación hallado en este ensayo (24%).

Para el ensayo con distancia entre electrodos de 4,0 cm, el coeficiente de correlación fue bajo (0,43), lo que indica que no existe una fuerte correlación entre los resultados hallados, sin embargo, con base en las eficiencias logradas y al bajo coeficiente de variación hallado (3%), se puede afirmar que fue el ensayo más consistente y confiable de los tres que se realizaron.

4. Conclusiones

Al aplicar la técnica de electrocoagulación a la muestra de agua residual de origen químico, se halló que el voltaje no influye significativamente en la remoción de contaminantes, a diferencia de la distancia entre los electrodos, que se constituye un factor determinante en el proceso.

Los SST y la Turbidez mostraron datos atípicos de remoción, es decir, valores alejados al valor de su media, por lo tanto, no es recomendable implementar la electrocoagulación para la remoción de estos parámetros fisicoquímicos en este tipo de aguas residuales. El tratamiento del agua residual proveniente del Laboratorio de Calidad de Aguas de la UPB, por medio de electrocoagulación es un proceso viable desde el punto de vista ambiental, en particular, para la remoción de DQO.

Referencias

American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation, APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. AWWA, Washington.

Arango, A., Garcés, L. (2007). Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea, *Universidad EAFIT*, 43, 147, 56-67.

Barba, L.E. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Universidad del Valle, Cali.

Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O., Sozbir, M. (2003). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater, *Separation and Purification Technology*, 37, 117-125.

Gilpavas, E. (2008). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales*. Universidad EAFIT, Medellín.

Meléndez, R. Elaida, V. (2012). *Determinación del efecto de la electrocoagulación en la remoción de materia orgánica en aguas residuales industriales*. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo.

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Redes de alcantarillado y bombeo*. Mc. Graw Hill, España.

Mollah, Y., Morkovsky, P., Gomes, J., Kesmez, M., Parga J., Cocke, D. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, B114, 199-210.

Mollah, Y., Schennach, R., Cocke, D. (2001). Electrocoagulación (EC) science and aplicaciones, *Journal of Hazardous Materials*, B84, 29-42.

Prieto, F., Callejas, J., Reyes, V., Marmolejo, Y. (2012). Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual, *AIDIS*, 5, 3, 51-77.

Rajeshwar, K., Ibanez, J. (2000). *Environmental electrochemistry fundamentals and applications*. Elsevier Science Ltd, Mexico.

Restrepo, A., Arango, Á., Garcés, L. (2006). La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas, *Lasallista*, 1, 2.