



Uso de electrocoagulación para la remoción de tartrazina en soluciones acuosas¹

Alvaro Arango Ruiz²

Electrocoagulación to remove tartrazine from aqueous solutions

Uso de electrocoagulação para a remoção de tartrazina em soluções aquosas

RESUMEN

Introducción. La industria de los alimentos, farmacéutica y de productos cosméticos genera aguas residuales que son vertidas a los cuerpos de agua con escasos tratamientos o sin ellos; estas aguas contienen sustancias tóxicas, tales como colorantes artificiales que son nocivos para el medioambiente. Entre los efectos más importantes causados por estas sustancias están la disminución del oxígeno disuelto, la eutricación, la formación de compuestos recalcitrantes y tóxicos para las células, y la obstaculización del paso de la luz a los cuerpos de agua y su deterioro estético. La electrocoagulación es una tecnología que se ha venido desarrollando en los últimos años y que se presenta como alternativa de tratamiento para las aguas residuales de estas industrias, al ofrecer múltiples ventajas comparativas con las tecnologías tradicionales. **Objetivo.** Estudiar la remoción del colorante azoico tartrazina de soluciones acuosas usando electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio. **Materiales y métodos.** Se trataron por electrocoagulación, aguas residuales sintéticas con una concentración de 100 mg/L de

¹Artículo derivado del proyecto de investigación "Electro oxidación de colorantes en aguas residuales haciendo uso de electrodos de titanio" financiado por el Fondo para el Desarrollo de la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista. ²Ingeniero Químico, magíster en Ingeniería Área Ambiental. Coordinador Programa Ingeniería Ambiental, investigador Grupo GAMA, Corporación Universitaria Lasallista.

Correspondencia: Álvaro Arango Ruiz, e-mail: alarango@lasallista.edu.co

Artículo recibido: 06/06/2011; Artículo aprobado: 12/11/2011

tartrazina; para ello se probó un diseño experimental factorial $3 \times 2 \times 3$, cuyos factores fueron: pH, densidad de corriente y tiempo de tratamiento. Las variables de respuesta medidas fueron porcentajes de remoción de DQO y color. **Resultados.** Las remociones de DQO fueron del orden del 95,5 % y las de color del orden del 99,4 % a pH de 4, densidad de corriente de 43,23 A/m² y a 12 minutos de tratamiento. **Conclusión.** Los resultados de este estudio permiten establecer que desde el punto de vista de los aspectos técnicos, la electrocoagulación es una tecnología que puede utilizarse en soluciones acuosas de tartrazina para la remoción de color.

Palabras clave: electrocoagulación, colorante azoico, electrodo de hierro y aluminio, electroquímica, tartrazina.

ABSTRACT

Introduction. Food, pharmaceutical and cosmetics industries produce waste water that go to watercourses after a poor treatment or even with no treatment at all. That water contains toxic substances such as artificial dyes, which are harmful for the environment. A reduction of dissolved oxygen, eutrophication, forming of recalcitrant, toxic compounds for cells and obstruction of the sunlight required for photosynthesis in water bodies are among the most important effects caused by these substances. Electrocoagulation is a technology that has been being developed in recent years and represents an alternative for these industries' waste water treatment having several comparative advantages if compared to traditional technologies. **Objective.** To study the removal of azoic tartrazine dye from aqueous solutions, by the use of electrocoagulation with iron and aluminum electrodes. **Materials and methods.** Synthetic waste water with a 100mg/L of tartrazine was treated with electrocoagulation. For this purpose, a $3 \times 2 \times 3$ factorial experimental model was tested, with the following factors: pH, current density and treatment time. The response variables measured were around 95,5% and those of the color; around 99,4% at a 4 pH, current density 43,23 A/m² and 12 minutes of treatment. **Conclusion.** This study's results establish that, from a technical point of view, electrocoagulation is a technique that can be used to remove color from aqueous solutions of tartrazine.

Key words: electrocoagulation, azoic dye, iron and aluminum electrode, electrochemistry, tartrazine.

RESUMO

Introdução. A indústria dos alimentos, farmacêutica e de produtos cosméticos gera águas residuais que são vertidas aos corpos de água com escassos tratamentos ou sem eles, estas águas contêm substâncias tóxicas, tais como corantes artificiais que são nocivos para o médio ambiente. Entre os efeitos mais importantes causados por estas substâncias estão a diminuição do oxigênio dissolvido, a eutroficação, a formação de compostos recalcitrantes e tóxicos para as células e a obstrução do passo da luz aos corpos de água e sua deterioração estética. A electrocoagulação é uma tecnologia que se veio desenvolvendo nos últimos anos e que se apresenta como alternativa de tratamento para as águas residuais destas indústrias, oferecendo múltiplas vantagens comparativas com as tecnologias tradicionais. **Objetivo.** Estudar a remoção do corante azoico tartrazina de soluções aquosas usando electrocoagulação com eletrodos de ferro e alumínio. **Materiais e métodos.** Trataram-se por electrocoagulação, águas residuais sintética com uma concentração de 100 mg/L de Tartrazina para isso se provou um desenho experimental fatorial $3 \times 2 \times 3$ cujas fatores foram: PH, densidade de corrente e tempo de tratamento. As variáveis de resposta medidas foram percentagens de remoção de DQO e cor. **Resultados.** As remoções de DQO foram sobre a ordem de 95,5 % e as das cor sobre a ordem de 99,4 % a PH de 4, densidade de corrente de 43,23 A m²e/a 12 minutos de tratamento. **Conclusão.** Os resultados deste estudo permitem estabelecer que desde o ponto de vista dos aspectos técnicos, a electrocoagulação é uma tecnologia que pode utilizar-se em soluções aquosas de tartrazina para a remoção de cor.

Palavras importantes: electrocoagulação, corante azoico, eletrodo de ferro e alumínio, eletroquímica, tartrazina.

INTRODUCCIÓN

La contaminación es un factor de gran importancia dentro de la problemática mundial en torno al agua, ya que los contaminantes generados por la actividad industrial y doméstica pueden ser acumulados y transportados tanto por las aguas superficiales como por las subterráneas, deteriorando la calidad del recurso hídrico.

La industria de los colorantes, alimentos, farmacéutica y cosmética genera aguas residuales que son difíciles de tratar por sus altos contenidos de materia orgánica, sólidos suspendidos y color. El color es el contaminante que se detecta a primera vista, dado a que pequeñas cantidades de este se hace apreciablemente visible, generando un deterioro estético del agua¹. Adicionalmente, los colorantes presentes en las aguas residuales, en especial los de origen sintético, disminuyen el oxígeno disuelto, generan eutricación y promueven la formación de compuestos recalcitrantes y tóxicos para las células y la vida acuática².

Dentro de los colorantes sintéticos se encuentra el grupo de los azoicos que constituyen el grupo de colorantes orgánicos más extenso, disponibles en el mercado y, adicionalmente, el más contaminante para el ambiente.

Los colorantes azoicos tienen uno o varios grupos azo (-N=N-) unidos a grupos de fenilo o naftaleno, los cuales pueden contener grupos como cloruro (Cl⁻), nitrito (NO₂⁻), metilo (CH₃⁻), amino (NH₂), hidroxilo (OH⁻) y carboxilo (COOH⁻). Con frecuencia se encuentra el grupo sulfónico (SO₃H⁻) caso en el cual los colorantes son llamados colorantes azo sulfonatados³.

Uno de los colorantes sintéticos más conocido es la tartrazina, ampliamente usada como aditivo para alimentos; se encuentra en bebidas deportivas, bebidas energizantes, bebidas alcohólicas, vinos, sopas instantáneas, gelatinas, helados, confites, cereales, tortas, postres, mermeladas, mostaza, salsas, entre otros. También se encuentra como aditivo en concentrados para aves con la finalidad de dar mayor coloración amarilla a la yema de sus huevos, lo cual les da una apariencia más nutricional⁴.

La tartrazina también es usada en la industria cosmética, en productos como jabones, cosméticos, champús, productos para uso capilar, sanitizadores para manos y tintas para tatuajes. Adicionalmente, en productos farmacéuticos como vitaminas, antiácidos y en las cápsulas para medicamentos.

La tartrazina es un colorante azoico con un grupo sulfónico, polar y altamente soluble en agua, cuya fórmula molecular es C₁₆H₉N₄Na₃O₉S₂ con un peso molecular de 534.36 g/mol⁴.

Existen discusiones contradictorias de algunos estudios respecto a la asociación positiva, especialmente en individuos con sensibilidad cruzada a la aspirina, como para afirmar que la tartrazina causa exacerbaciones del asma; la tartrazina también se ha considerado como sustancia alergénica, carcinogénica y mutanogénica⁵.

Dados los presuntos efectos tóxicos de la tartrazina y las consecuencias ambientales por los efectos nocivos sobre el recurso hídrico y sobre la biota, se hace prioritario desarrollar investigaciones tendientes a desarrollar tecnologías eficientes en el tratamiento de aguas residuales con contenidos de tartrazina.

Son muchas las tecnologías investigadas, desarrolladas e implementadas para remover los colorantes presentes en las aguas residuales; entre estas tecnologías se encuentran: tratamientos biológicos aerobios y anaerobios, adsorción con carbón activado, coagulación-floculación, fotodegradación, oxidación química, ozonización, reacciones con fenton y ósmosis inversa⁶.

La coagulación química es una de las operaciones fisicoquímicas más importantes, ampliamente utilizadas y prácticas en la remoción de contaminantes de las aguas residuales; este proceso busca la desestabilización y agregación de las partículas de contaminante que se encuentran disueltas o en sus-

pensión, en partículas más grandes; esto haciendo uso de alguna sustancia química llamada coagulante. La desestabilización de dichas partículas, genera macroagregados que pueden ser removidos, bien sea por sedimentación o por filtración.

La coagulación química ha comenzado a ser cuestionada, dados los altos costos asociados a los tratamientos químicos, los grandes volúmenes de lodos generados, la producción de hidróxidos metálicos categorizados como residuos peligrosos y los costos de los químicos para efectuar la coagulación⁷.

Alternativamente, se ha aplicado la electrocoagulación, coagulación generada por la aplicación de corriente eléctrica sobre el medio acuoso; este tratamiento ha mostrado ventajas ambientales y económicas sobre el tratamiento por coagulación química.

La electrocoagulación es 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, entre los cuales el hierro y el aluminio son los más utilizados⁸.

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 estable produce 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^{8,9}.

La figura 1 muestra el sistema de electrocoagulación para el caso en el que se utilizan electrodos de hierro y aluminio, el aluminio cumple la función de ánodo, liberando iones Al^{+3} y actúa como electrodo de sacrificio, esto es, sufre un desgaste a medida que pasa la corriente eléctrica a través del medio acuoso, mientras que el hierro cumple la función de cátodo y, por lo tanto, no sufre ningún desgaste¹⁰.

Se ha demostrado que la aplicación de la electrocoagulación en aguas residuales coloreadas tiene una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y color, eficiencia que alcanza valores por encima del 98%¹¹⁻¹⁴. Adicionalmente esta tecnología trae beneficios tales como:

- Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros⁷.
- Requiere de equipos simples y de fácil operación⁷.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos⁷.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos⁷.
- Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada⁷.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes⁷.
- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación⁷.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados⁷.

- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras⁷.
- Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad⁷.

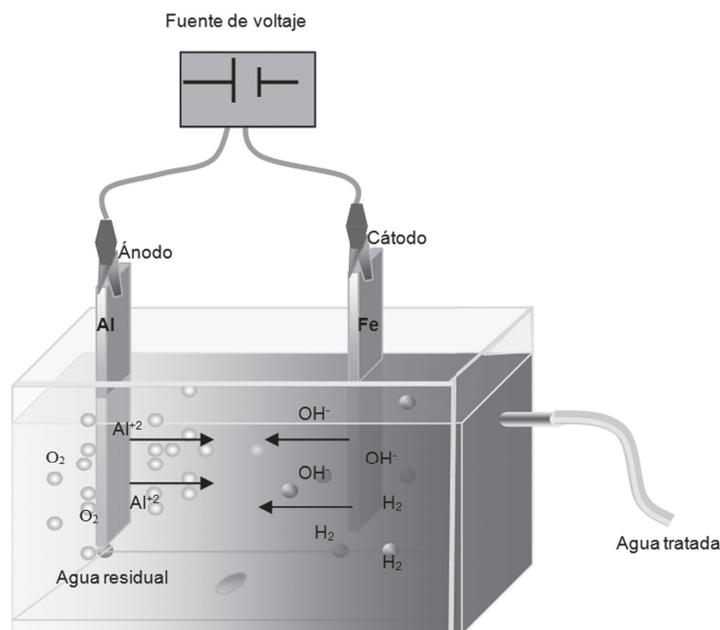


Figura 1. Sistema de electrocoagulación con ánodo de aluminio y cátodo de hierro

Fuente: elaboración propia

Las desventajas más importantes de esta tecnología son⁷:

- Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

El fácil manejo, infraestructura simple y ventajas económicas y ambientales hacen de la electrocoagulación una tecnología atractiva y con un gran potencial de aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó con agua residual sintética, con una concentración de 100 ppm de tartrazina grado comercial para alimentos; el pH de las soluciones se ajustó utilizando ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, ambos grado reactivo; se adicionó cloruro de sodio para ajustar la conductividad de la solución acuosa.

Como variables de respuesta se midieron el porcentaje de remoción de DQO y el porcentaje de remoción del color. El porcentaje de remoción para la DQO se determinó midiendo este parámetro antes y

después de cada tratamiento por el método de micro-DQO calorimétrico. De igual forma se determinó el porcentaje de remoción de color midiendo la absorbancia a 425 nm en un espectrofotómetro UV visible, previo establecimiento de la curva de calibración para la concentración de colorante.

Durante el proceso se realizaron mediciones de pH y conductividad del medio acuoso; adicionalmente, se registró la temperatura. Todos los análisis se hicieron de acuerdo con los procedimientos establecidos por Standard Methods¹⁵.

La electrocoagulación se llevó a cabo por lotes en una celda con capacidad para dos litros, provista de seis electrodos: tres de hierro usados como electrodos de sacrificio y tres de aluminio con separaciones de un centímetro, dispuestos alternadamente y en forma paralela, los cuales se conectaron a una fuente de voltaje con control para la corriente en el rango de 0 a 25 A.

Para establecer el diseño experimental se efectuó una prueba de tamizado consistente en la observación del comportamiento de diferentes variables fisicoquímicas en el medio acuoso, recolectando información a priori que permitió determinar los valores de corriente eléctrica, distancia entre electrodos, tiempo de tratamiento y pH que llevaron a tratamientos de electrocoagulación más eficientes para ser tenidos en cuenta en el diseño experimental; de este modo se diseñó un experimento completamente al azar con estructura factorial con factores pH con niveles de 4, 6 y 8, densidad de corriente (J) con niveles 32.43 y 43.23 A/m² y tiempo (t) con observaciones a 4, 8 y 12 minutos.

Para cada uno de los experimentos se hicieron tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron el porcentaje de remoción de DQO y color.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de la información fue:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde,

μ es el porcentaje medio de remoción de DQO del modelo.

α_i es el efecto del i-ésimo nivel del factor pH.

$i = 4, 6 \text{ y } 8.$

β_j es el efecto del j-ésimo nivel del factor Densidad de Corriente.

$j = 32.43 \text{ y } 43.23 \text{ A/m}^2.$

γ_k es el efecto del k-ésimo nivel del factor Tiempo.

$k = 5, 8 \text{ y } 12.$

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores pH y Densidad de Corriente. $\forall i, j$

$(\alpha\gamma)_{ik}$ es el efecto de interacción entre los niveles i y k de los factores pH y Tiempo. $\forall i, k$

$(\beta\gamma)_{jk}$ es el efecto de interacción entre los niveles j y k de los factores Densidad de Corriente y Tiempo. $\forall j, k$

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción entre los niveles i, j y k de los factores pH, Densidad de Corriente y Tiempo. $\forall i, j, k$

y_{ijkl} es la l-ésima observación del porcentaje de remoción de DQO observado en los niveles i, j y k de los factores pH, Densidad de Corriente y Tiempo.

ε_{ijkl} es el l-ésimo término de error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en el gráfico 1, el porcentaje de remoción de DQO aumenta a medida que se disminuye el pH y se aumenta la densidad de corriente y el tiempo. La mejor combinación de tratamientos es a pH inicial del medio acuoso de 4, densidad de corriente (J) de 43.23 A/m² y un tiempo de proceso de 12 minutos, que dio una remoción de DQO de 95.5%, lo cual es alto. La menor remoción de DQO 27.6% se presentó para un pH de 8, una densidad de corriente de 32.43 A/m² en 12 minutos de tratamiento.

En cuanto a la remoción de color se observa un comportamiento igual al presentado para la remoción de DQO; esto es, el porcentaje remoción de color aumenta con el incremento de la densidad de corriente, la disminución de pH y aumento del tiempo de tratamiento. En todo tiempo para las diferentes condiciones de densidad de corriente y pH, la remoción de color es ligeramente superior a la remoción de DQO, lo cual se explica, ya que el color como sustancia orgánica hace parte de la DQO total presente en el medio acuoso. Al igual que con la remoción de DQO, la mayor remoción de color, 99.4% se dio para un pH de 4, una densidad de corriente de 43.23 A/m² y un tiempo de proceso de 12 minutos. La menor remoción de color se dio para 32.43 A/m² a un pH de 8 y en los 12 minutos de tratamiento este comportamiento se puede ver en el gráfico 2.

En el análisis estadístico de los datos experimentales, empleando el ANOVA, se encuentra que la interacción entre los factores densidad de corriente, pH y tiempo, presenta una variación significativa en las variables de respuesta, es decir, en el porcentaje de remoción de DQO. El modelo es estadísticamente significativo, dado que el error permisible por el ANOVA para el modelo estadístico es del 5%. Los resultados obtenidos en el modelo empleado explican la remoción de la tartrazina, de acuerdo con los factores definidos, ya que el valor de probabilidad es inferior a 0.05 como se observa en la tabla 1.

En la gráfica 3 se presenta el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde se observa que para el factor densidad de corriente existe una diferencia significativa entre los niveles experimentales de 32.43 y 43.23 A/m².

De igual forma, en la gráfica 4 se observa que para el factor pH existe una diferencia significativa entre los niveles experimentales de 4, 6 y 8; y finalmente para el factor tiempo, gráfico 5, existe una diferencia significativa entre los niveles 4, 8 y 12 minutos.

Se encontró un coeficiente de correlación r^2 de 0.9002 lo que significa que el modelo estadístico propuesto explica el 90.02% de la variabilidad de la proporción de remoción de DQO, lo cual indica un ajuste bueno del modelo a los datos recolectados.

Respecto al proceso de electrocoagulación, se presentó la formación de lodos poco compactos que inicialmente flotaron por su baja densidad, pero que luego de un reposo se sedimentaron.

CONCLUSIONES

La electrocoagulación de aguas residuales con contenido del colorante azoico tartrazina haciendo uso de electrodos hierro y aluminio, con la placa de hierro como electrodo de sacrificio, está afectada de manera significativa por los tres factores analizados en el diseño experimental que son: densidad de corriente, pH y tiempo. El diseño de tres factores se ajusta a los datos ($R\text{-Square} = 0,9002$). En particular se tiene como nivel óptimo del estudio cuando la densidad de corriente de 43.23 A/m², el pH es de 4, y el tiempo de 12 minutos, caso en el cual se obtuvo una remoción de DQO de 95,50% y de color de 99.40%.

En el proceso se observó la producción de lodos poco compactos, situación que puede ocasionar la redisolución del colorante en el caso de hacer una manipulación brusca de los mismos.

Los resultados de este estudio permiten establecer que desde el punto de vista de los aspectos técnicos, la electrocoagulación es una tecnología que puede utilizarse en soluciones acuosas de tartrazina para la remoción de color.

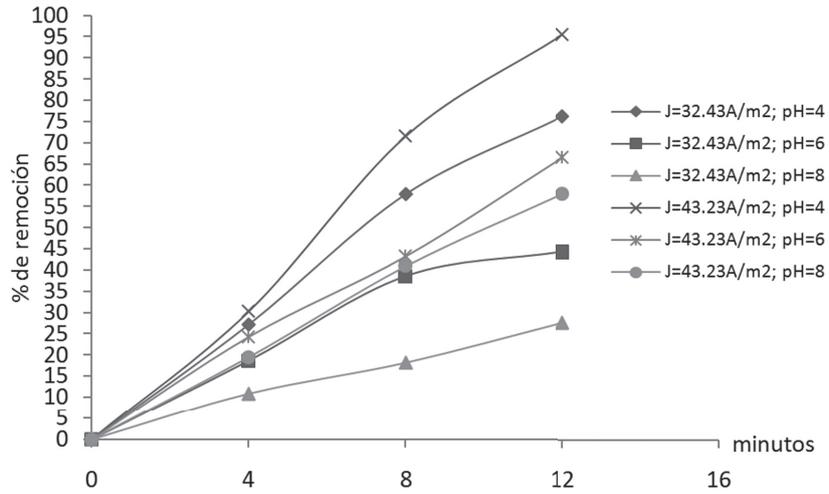


Gráfico 1. Porcentajes de remoción de DQO a las diferentes combinaciones de tratamientos

Fuente: elaboración propia

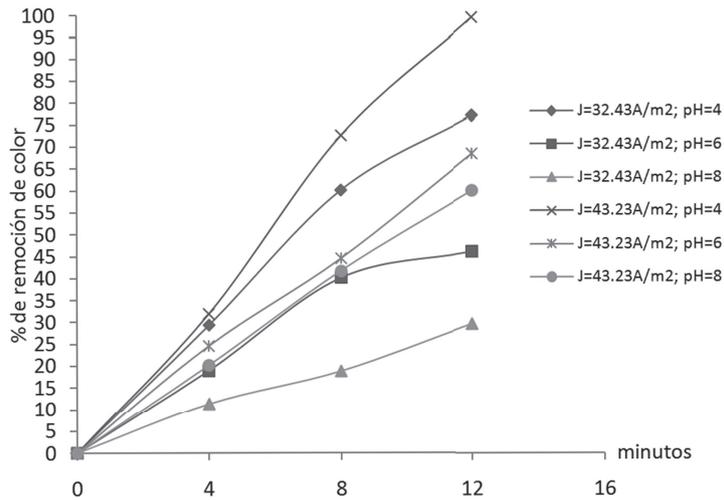


Gráfico 2. Porcentajes de remoción de color para las diferentes combinaciones de tratamientos

Fuente: elaboración propia

Tabla I. Análisis estadístico ANOVA de los datos experimentales

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio al cuadrado	Coefficiente F	Valor de p
A:Densidad	1419,88	1	1419,88	23,12	0,0000
B:pH	12338,0	2	6169,01	100,46	0,0000
C:Tiempo	12834,4	2	6417,22	104,50	0,0000
Interacciones:AB	38,71	2	19,355	6,99	0,0027
AC	430,281	2	215,141	77,71	0,0000
BC	2092,99	4	523,246	189,01	0,0000
ABC	285,922	36	71,4806	25,82	0,0000
Residual	2947,56	48	61,4075		
Total (corregido)	29539,9	53			
Total corregido	29539,9	53			

Fuente: elaboración propia

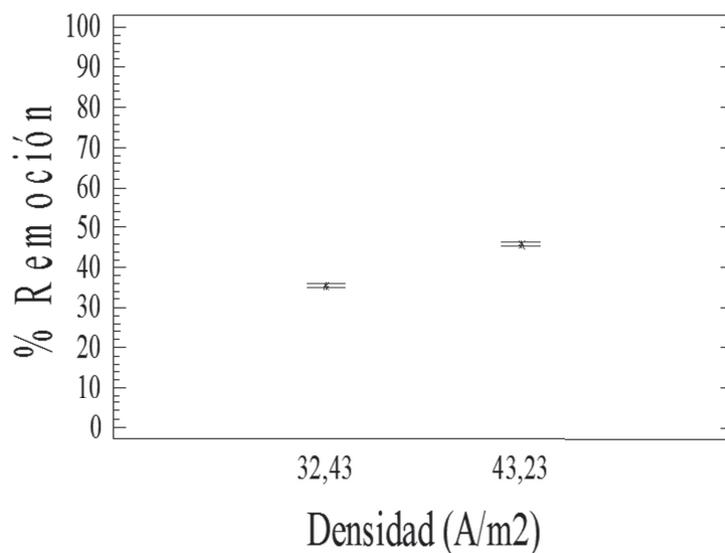


Gráfico 3. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para densidad de corriente

Fuente: elaboración propia

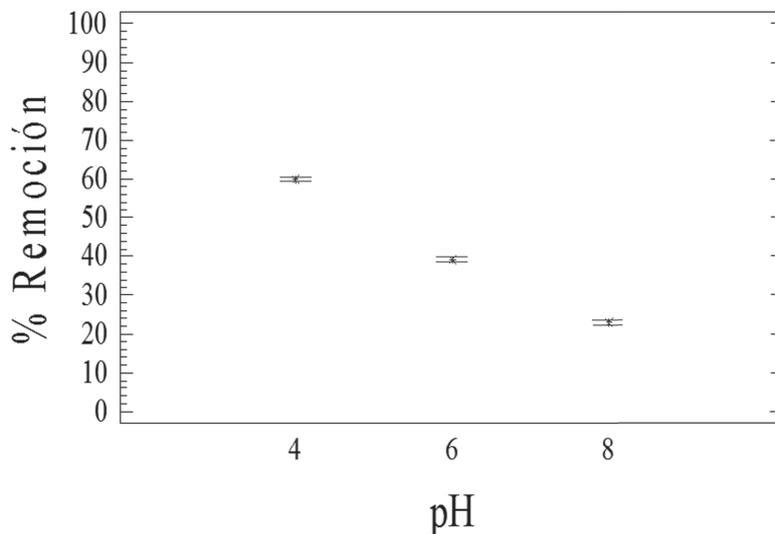


Gráfico 4. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para pH

Fuente: elaboración propia

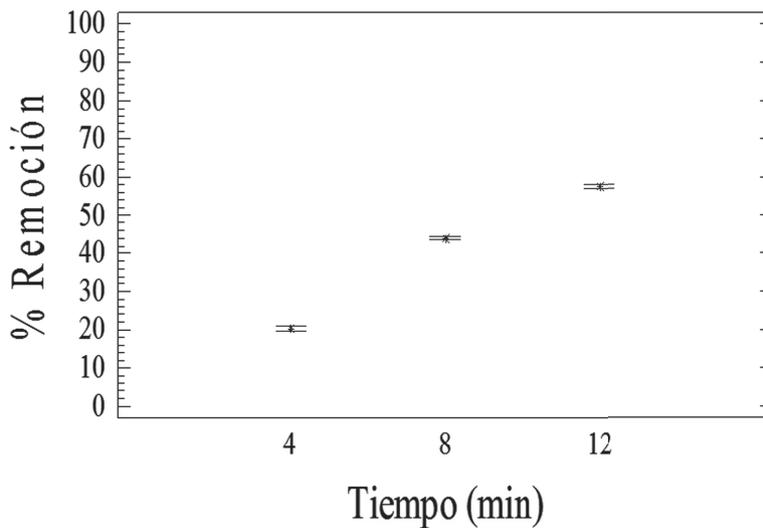


Gráfico 5. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para tiempo

Fuente: elaboración propia

REFERENCIAS

1. MODIRSHAHLA, N.; BEHNAJADY, M.A. and KOOSHAIAN, S. Investigation of the effect of different electrode connections on the removal efficiency of tartrazine from aqueous solutions by electrocoagulation. *En: Dyes and pigments*. 2007. Vol. 74. p. 249-257
2. PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R. and GUTHRIE, J. T. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *En: Dyes and pigments*. Vol. 53. N°3, (2003). p. 179-196

3. TAN, N.C. Integrated and sequential anaerobic/aerobic biodegradation of azo dyes. Wageningen: Thesis Wageningen University Research Center, 2001. 104 p.
4. EFSA. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food. Scientific Opinion on the re-evaluation Tartrazine (E 102). En: EFSA Journal. Vol. 7, No. 11. (2009); 54 p.
5. GUPTA, Vinod; *et al.* Removal of the hazardous dye-trartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. En: Materials Science and Engineering C. Vol. 31, (2011); p. 1062-1067
6. MERZOUK, B.; *et al.* Removal of disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study. En: Desalination. 2011. Vol. 272, p. 246-253
7. POWELL WATER SYSTEMS. Powell Electrocoagulation: Sustainable Technology For the Future. [En línea] Colorado : Powell Water Systems, 2001. p. 2-27. [citado el 16 de agosto de 2011]. Url disponible en: www.powellwater.com/data/technical%20manual.pdf
8. HOLT, Peter K.; BARTON, Geoffrey W. and MITCHELL, Cynthia A. The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology. En: Chemosphere. Vol. 59, No. 3 (apr. 2005); p. 355-367
9. STEPHENSON, Rob and TENNANT, Bruce. New electrocoagulation process treats emulsified oily wastewater at Vancouver Shipyards. [En línea]. Vancouver: Environmental Science & Engineering, 2003. [citado el 11 de septiembre de 2011]. Url disponible en: <http://www.esemag.com/0103/electro.html>
10. GONZALEZ, J.; *et al.* ¿What can electrochemistry do for the environmental?. En: Portugaliae Electrochimica Acta. Vol. 19, (2001); p. 171-195
11. GE, Jiantuan; *et al.* New bipolar electrocoagulation – electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. En: Separation and Purification Technology. Vol. 36, (2004); p. 33-39
12. KOBYA, Mehmet; CAN, Orhan Taner and BAYRAMOGLU, Mahmut. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. En: Journal of Hazardous Materials. Vol. B100, (2003); p. 163-178
13. YANG, Chen-Lu and MCGARRAHAN, Jared. Electrochemical coagulation for textile effluent decolorization. En: Journal of Hazardous Materials. Vol. 127. (December 2005), p. 40-47.
14. CHEN, Guohua. Electrochemical technologies in wastewater treatment. In: Separation and Purification Technology. Vol. 38, No. 1 (jul. 2004); p. 11-41.
15. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington: EPA-AWWA-WPCF, 2005. p. 5-14 – 5-19