

# Aplicación de métodos electroquímicos en la remoción de materia orgánica en los jugos producto del beneficio del fique: alternativa biotecnológica para mitigar la contaminación en los afluentes hídricos

Gonzalo Taborda O.<sup>1</sup>, Viviana Zuluaga R.<sup>1</sup>, Leonel Palomá P.<sup>2</sup>,  
Juan Pablo Penagos González<sup>3</sup>

1. Departamento de Química, Universidad de Caldas.

2. Departamento de Matemáticas, Universidad de Caldas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

3. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Lic. en Biología y Química  
Universidad de Caldas, Manizales.

**Correspondencia:** [juan.201022152@ucaldas.edu.co](mailto:juan.201022152@ucaldas.edu.co)

**Recibido:** 29-04-2011 / **Aceptado:** 08-06-2011

## Resumen

Esta investigación tuvo como propósito aplicar las tecnologías electroanalíticas, como la electrocoagulación, para la remoción de materia orgánica presente en los jugos del fique con el fin de reducir el impacto ambiental que genera una práctica milenaria y cultural como lo es la extracción de la fibra (cabuya) de la *Fourcrea c.* En el presente estudio, se evaluó el comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO) a través del proceso electroquímico bajo diferentes parámetros de corriente eléctrica, voltaje y pH para evaluar los parámetros óptimos de operación en el tratamiento de estas aguas residuales, lo cual permitió modelar matemáticamente la respuesta de este proceso y plantear una alternativa para mitigar la contaminación generada en los cuerpos de agua.

**Palabras clave:** electroquímica, contaminación, materia orgánica, electrocoagulación, impacto ambiental.

## Abstract

**Application of electrochemical methods in the removal of organic matter in the juices of the benefit of sisal products: biotechnological alternative for mitigating water pollution in the tributaries**

This research was intended to apply electroanalytical technologies, such as electrocoagulation for removal of organic matter present in sisal juices to reduce the environmental impact generated by age-old cultural practice such as the extraction of the fiber (sisal) of *Fourcrea c.* In the present study, we evaluated the behavior of chemical oxygen demand (COD) through an electrochemical process under different parameters of electric current, voltage and pH to evaluate the optimal operating parameters in the treatment of the waste water, allowing mathematically model the response of this process and propose an alternative to mitigate the pollution generated in the bodies of water.

**Keywords:** electrochemistry, pollution, organic matter, electrocoagulation, environmental impact.

## Introducción

En Caldas, Colombia, la labor fiquera ha sido una actividad cultural y ancestral desarrollada principalmente en el norte y el oriente del departamento. Dicha actividad tiene como propósito la extracción de fibras tanto para empaques como para productos artesanales y generan un impacto ambiental en la región debido que durante el proceso de desfibrado de las hojas se producen altos volúmenes de residuos líquidos que son aproximadamente el 70% de la planta y es muy común que esos jugos sean vertidos en el mismo sitio de cultivo causando la contaminación de los cuerpos de aguas debido a su alto contenido de materia orgánica. Estos líquidos representan una amenaza para la biota y microbiota acuática debido a que el proceso de desfibrado se realiza generalmente cerca de fuentes hídricas y el lavado de las fibras se realiza habitualmente en los ríos (1). En estudios realizados en aguas tomadas de afluentes hídricos donde se realiza el lavado de las fibras se pudo determinar que la toxicidad en organismos acuáticos como la trucha arco iris y carpa medido como CL50 es del orden de 1ppm en 96 horas (2).

Esta información es comparable con el estudio realizado por el IDEAM (IDEAMYDAMA (1) donde los jugos producto del beneficio del fique resultan ser más contaminantes que las aguas residuales del municipio de Bogotá. En este sentido, la utilización de técnicas electroquímicas para el tratamiento de estas aguas residuales es una alternativa para que esta práctica milenaria acoja las normas ambientales y se alcance una producción más limpia. Las técnicas electroquímicas han sido ampliamente utilizadas en el mundo para el tratamiento de aguas residuales durante aproximadamente 4 décadas (3) con un amplio espectro de aplicaciones. Adicionalmente, tratar estas aguas con métodos electroquímicos minimiza la utilización de coagulantes químicos ya que estos se producen *in situ* (4), también permite realizar el procedimiento de remoción en el mismo lugar donde se realiza la actividad agrícola facilitando todo el proceso.

La electrocoagulación como técnica para el tratamiento de aguas residuales consiste en la desestabilización de contaminantes presentes en

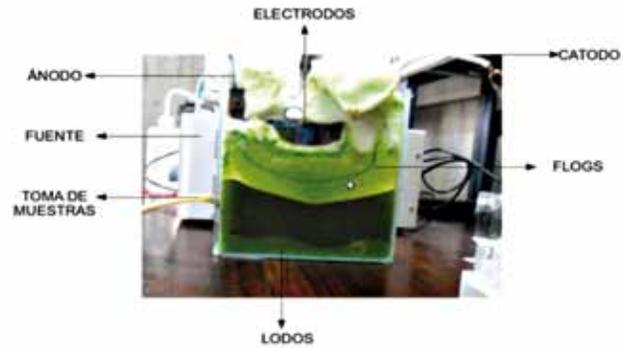


Figura 1. Proceso electroquímico.

un medio acuoso mediante la introducción de una corriente eléctrica directa a través de una celda electrolítica, la cual consta de dos electrodos metálicos generalmente de hierro o aluminio (5), los cuales se encuentran sumergidos en una solución conductora conectados a una fuente de corriente, Figura 1. Con el fin de evaluar la eficiencia de los métodos electroquímicos en la remoción de materia orgánica presente en los jugos producto del beneficio del fique se determinó el grado de correlación entre las variables que intervienen en el método electroquímico como son: DQO (mg/L), tiempo (t), voltaje (V), corriente (A), pH y temperatura (T).

## Materiales y métodos

El fundamento de la operación de una celda electrolítica se basa en la aplicación externa de energía en donde los electrodos empiezan un intercambio electrónico con el electrolito. Cuando se tiene un electrolito en una matriz orgánica las moléculas que están en suspensión se cargan al someterlas a la corriente eléctrica dando lugar de esta manera a reacciones de oxidación-reducción generadas por la migración de iones que hay entre los electrodos y posteriormente los iones de cargas opuestas se empiezan a acumular formando agregados denominados "Flogs" los cuales por su densidad pueden flotar o bien precipitar en el medio acuoso, procesos denominados electrofloculación y electrocoagulación respectivamente. Las reacciones que se llevan a cabo en una celda electrolítica son similares a las ocurridas en el proceso de coagulación química en donde un agente coagulante es adicionado al agua conta-

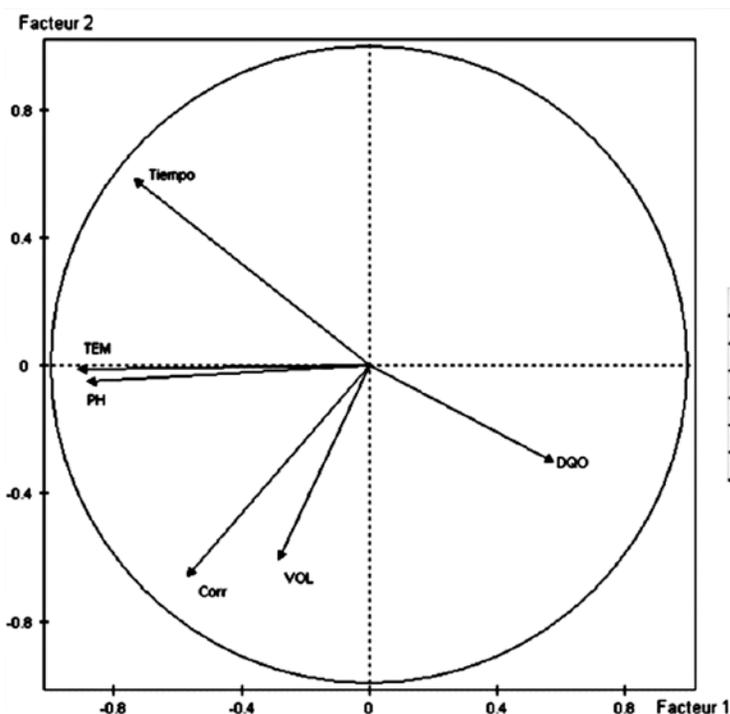
minada, la diferencia radica en que esta sustancia no es introducida sino generada *in situ* (4) por la migración de los hidróxidos de aluminio y hierro de los electrodos al medio acuoso.

En estudios realizados por Phutdhawong (6), en la remoción de materia orgánica (específicamente fenoles) y por electrocoagulación se determinó que los electrodos de aluminio fueron más eficientes que los de hierro, ya que los óxidos de aluminio tienen una mayor capacidad de adsorción. Sin embargo, los más utilizados para remoción de materia orgánica son el conjunto Hierro/Aluminio, (7).

Para la aplicación del proceso electroquímico se utilizaron los jugos producto del beneficio del fique, los cuales se tomaron después de 15 minutos del proceso de desfibrado.

Los parámetros utilizados en el reactor electrolítico corresponden al diseño desarrollado por Delgadillo (8), con las siguientes características:

Características del reactor	
Capacidad	1,5 L
Ánodo	Hierro
Cátodo	Aluminio
Distancia Interelectródica	1 cm
Disposición	Alternada
Conexión	Paralelo



Se realizaron 4 montajes, de los cuales dos se trabajaron a corrientes constantes (1,5A y 3,5A) y voltajes variables; y los otros dos a voltajes constantes (5V y 7V) y corrientes variables. En cada uno de los cuatro experimentos se registraron cada 10 minutos los datos de la variación de las variables, en los primeros dos montajes expuestos, de pH y temperatura en voltaje variable y en los últimos 2, se registraron, en los mismos tiempos de 10 minutos, los datos de la variación de pH y temperatura en corriente variable.

## Resultados

Aplicando el método de análisis de componentes principales a las variables: DQO en mg/L, tiempo (t) en minutos, voltaje (V) en voltios, temperatura (T) en grados centígrados, corriente en amperios (A) y pH, encontramos que existe una correlación negativa entre la cantidad de materia orgánica DQO y el tiempo. También se detectó correlación positiva entre la temperatura y el pH, entre la corriente y el voltaje, estas y otras correlaciones se presentan en la Figura 2.

Estos resultados nos sugieren examinar un modelo de regresión de la forma:

Contribuciones de los dos primeros factores

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2
DQO	0,58	-0,30
Tiempo	-0,73	0,58
Corr	-0,57	-0,66
TEM	-0,91	-0,01
PH	-0,88	-0,05
VOL	-0,28	-0,61

Figura 2. Correlaciones entre las variables.

$$DQO(t,A,pH) = a_1(t) + a_2(A) + a_3(pH)$$

Aplicando los mínimos cuadrados obtenemos el siguiente modelo

$$DQO(t,A,pH) = 3860.18 - 18.833t + 0.117t^2 - 66.37A + 124.72pH$$

con un coeficiente de correlación múltiple de 0.672.

De forma aproximada podemos concluir que por cada minuto de tiempo transcurrido el DQO disminuye en 18.8 miligramos por litro, por cada amperio el DQO disminuye en 66.37 miligramos por litro y por cada 124.72 miligramos por litro de DQO el PH aumenta en una unidad.

## Discusión

El modelo desarrollado permite concluir que la variable DQO se puede explicar, de una forma aproximada, en términos del tiempo, pH y voltaje y que al evaluar los porcentajes de remoción de los cuatro modelos realizados, el orden de mayor a menor remoción de materia orgánica es: a voltaje constante de 7,5V un porcentaje de hasta un 27,86% removido, a corriente constante de 1,5A un porcentaje de hasta un 25,95%, a voltaje constante de 5 V un porcentaje de hasta un 24,47% y finalmente a corriente constante de 3,5A un porcentaje de hasta un 22,67%. Es de anotar que las eficiencias de esta técnica son mayores en los procesos de potabilización de aguas donde la concentración de materia orgánica es significativamente menor (9), sin embargo, al

disminuir la capacidad espumante de la matriz hace que el intercambio de oxígeno entre los organismos acuáticos sea mejor y se disminuya la toxicidad.

El proceso de electrocoagulación y electroflotación permite la precipitación de metabolitos secundarios potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos como lo son las saponinas presentes en gran cantidad (10 y 11).

## Referencias

1. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural República de Colombia. Guía Ambiental del Subsector Fiquero. (2006)
2. Martínez, Angélica María y Caicedo, Tania Ximena. Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio de Tambo (Nariño). Bogotá: Universidad El Bosque, 2002. 26 p. Tesis de Postgrado en la especialización de Salud Ambiental.
3. Mohammad. M. Emamjomeh, Muttucumar. Sivakumar / Journal of Environmental Management 90 (2009) 1663–1679.
4. Holt, P.K., Barton, G.W., Wark, M., Mitchell, C.A / Colloids Surf. A 211(2002) 233-248.
5. Mohammad Y.A. Mollaha , Paul Morkovskiyb , Jewel A.G. Gomesc, Mehmet Kesmez , Jose Pargad , David L. Cockec, / Journal of Hazardous Materials B114 (2004) 199–210.
6. Phutdhawong, W., Chowwanapoonpohn, S., Buddhasukh, D. / Anal. Sci. 16 (2000) 1083–1084.
7. Kobya, M., Can, O.T., Bayramoglu, M., / J. Hazard. Mater. 100 (2003) 163–178.
8. Delgadillo L. 1998.
9. Peter K. Holt, Geoffrey W. Barton, Cynthia A. Mitchell / Chemosphere 59 (2005) 355–367.
10. Sparg S.G., Light M.E. & Van Staden, J / Journal of ethnopharmacology, (2004) 94(2-3), 219-43.
11. Bauman E., Stoya G., Volkner A., Ritcher W., Lemke C., Linss W., ActaHistochemica (2000)102, 21-35

