

Depuración refractaria de contaminantes de un efluente de la industria textil por oxidación electroquímica

Refractory purification of contaminants from an effluent of the textile industry by electrochemical oxidation

- ¹ Martha Mirella Bermeo Garay  <https://orcid.org/0000-0002-7175-3080>
Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador.
martha.bermeog@ug.edu.ec
- ² Marina Chanena Alvarado Aguilar  <https://orcid.org/0000-0002-1714-2801>
Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador.
marina.alvaradoag@ug.edu.ec
- ³ Jairo Sebastián Mendieta Bravo  <https://orcid.org/0000-0002-3148-5392>
Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil, Ecuador.
jairo.mendietab@ug.edu.ec
- ⁴ Daniel Alfredo Leal Alvarado  <https://orcid.org/0000-0002-7452-7062>
Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas,
Instituto de Investigación Científica, Portoviejo, Manabí.
lealda83@hotmail.com



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 07/07/2022

Revisado: 15/08/2022

Aceptado: 19/09/2022

Publicado: 05/10/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.2360>

Cítese:

Bermeo Garay, M. M., Alvarado Aguilar, M. C., Mendieta Bravo, J. S., & Leal Alvarado, D. A. (2022). Depuración refractaria de contaminantes de un efluente de la industria textil por oxidación electroquímica. *ConcienciaDigital*, 5(4), 145-160.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.2360>



CONCIENCIA DIGITAL, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

refractaria,
electrodos de
hierro,
oxiradicales,
oxidación
electroquímica,
descontaminación.

Keywords:

refractory, iron
electrodes,
oxyradicals,
electrochemical
oxidation,

Resumen

Introducción: en el presente trabajo se aplica los procesos de oxidación avanzada (POAs) con aporte de energía en la depuración refractaria de la demanda química de oxígeno (DQO), colorantes, metales pesados de un efluente de industria textil. **Objetivos:** el objetivo de esta investigación fue depurar contaminantes refractarios de un efluente de la industria textil, aplicando tecnologías avanzadas con aporte de energía, (por oxidación electroquímica) para minimizar el impacto ambiental en los cuerpos de agua. **Metodología:** para el estudio, se utilizó un reactor electroquímico discontinuo de vidrio transparente refractario con un tanque en forma de cilíndrica y derivación lateral, de un volumen neto de 0.865 litros en un modo de operación potenciostático con diferentes combinaciones de los electrodos. La oxidación electroquímica se desarrolló con el arreglo de electrodos de hierro: 2 serie, 2 paralelo y la separación entre electrodos de 12 mm. Esto garantiza un tratamiento sin utilizar reactivos químicos, utilizando cargas eléctricas mediante la adecuada disposición de los electrodos. En el proceso electroquímico se generan oxiradicales con un potencial oxidante superior al de cualquier sustancia química, descomponiendo la materia orgánica principalmente en CO₂ y H₂O. En esta investigación, se obtuvieron porcentajes de remoción superiores al 91% en metales como: cromo hexavalente, hierro y cobalto, reducción del 71,04% de DQO, 94,9% de color y 77,5% de sólidos suspendidos totales (SST). **Resultados:** los resultados obtenidos en este trabajo lograron estar dentro de los parámetros de la normativa legal vigente. **Conclusiones:** Este procedimiento demuestra su efectividad para remover los contaminantes DQO refractarios: colorantes, metales pesados de un efluente de industria textil, logrando una remoción de 98% de cromo hexavalente, 96,95% de hierro, 91,8% de cobalto, 71,04% de Demanda Química de Oxígeno, 94,9% de color y 77,5% de SST.

Abstract

Introduction: in the present work applies the advanced oxidation processes (POAs) with energy input in the refractory purification of the chemical oxygen demand (COD), dyes, heavy metals of a textile industry effluent. Objectives: the objective of this research was to purify refractory contaminants from an effluent from the textile industry, applying advanced technologies with energy input (by

decontaminación.

electrochemical oxidation) to minimize the environmental impact on water bodies. Methodology: for the study, a discontinuous electrochemical reactor of refractory transparent glass with a tank in the form of a cylindrical and lateral derivation, of a net volume of 0.865 liters was used in a potentiostatic mode of operation with different combinations of the electrodes. Electrochemical oxidation was developed with the arrangement of iron electrodes: two series, two parallel and the separation between 12 mm electrodes. This guarantees a treatment without using chemical reagents, using electrical charges through the proper arrangement of the electrodes. In the electrochemical process, oxiradicals are generated with an oxidizing potential higher than that of any chemical substance, breaking down the organic matter into CO₂ and H₂O. In this research, removal percentages greater than 91% were obtained in metals such as: hexavalent chromium, iron, and cobalt, 71.04% reduction in COD, 94.9% in color and 77.5% in total suspended solids (TSS). Results: the results obtained in this work managed to be within the parameters of the current legal regulations. Conclusions: This procedure demonstrates its effectiveness in removing refractory COD contaminants: dyes, heavy metals from a textile industry effluent, achieving a removal of 98% hexavalent chromium, 96.95% iron, 91.8% cobalt, 71.04% Chemical Oxygen Demand, 94.9% color and 77.5% SST.

Introducción

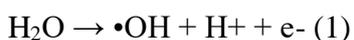
La industria textil, además de consumir energía, productos químicos auxiliares, registra una demanda de agua de 100 a 200 litros para el proceso de un kilogramo de producto terminado, generando una gran cantidad de agua residual (Cardoso et al., 2016; Tinoco et al., 2011), indican que en los efluentes residuales de la industria textil se encuentran concentraciones considerables de colorantes, tensoactivos, componentes inhibidores, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes clorados. Y estos colorantes son muy persistentes en el ambiente, siendo responsables de muchos de los efectos nocivos sobre la flora y la fauna acuática. Los métodos de eliminación clásica no son eficientes debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos (Mansilla et al., 2001). Los colorantes textiles que mayormente se utilizan en la actualidad son de origen sintético siendo altamente resistentes a la acción de agentes químicos presentando características recalcitrantes,

refractarios ya que éstos no son biodegradables en el medio ambiente (Zaruma et al., 2018). Por otra parte Bermeo & Tinoco (2016), mencionan que los colorantes son sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno disuelto, la eutrofización, 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.

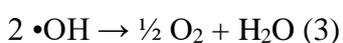
Los colorantes presentes en los efluentes de la industria textil, en su mayoría son refractarios siendo resistentes a los tratamientos biológicos convencionales, por lo que la biodegradación directa del residuo no constituye una verdadera solución (García et al., 2012). Por esta razón varios grupos de investigación realizan estudios en la búsqueda de nuevas alternativas de mineralización (transformación hasta CO_2 y H_2O) que sean económicas y efectivas para la disminución de la carga orgánica y su toxicidad buscando garantizar una descarga segura del efluente. Por otra parte García et al. (2012), utilizo el proceso de oxidación avanzada - reacción Fenton, se utilizan como reactivos peróxido de hidrógeno y sales de Fe^{2+} soportados en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas, para la remoción de colorantes sintéticos, La máxima remoción del 98,33% para colorante el negro reactivo 5, al utilizar el catalizador de 3% Fe.

El método de la electroquímica en el tratamiento de efluentes contaminados con compuestos orgánicos permite reducirlos, transformarlos o eliminarlos (Linares-Hernández et al., 2011). Mediante la selección adecuada de los electrodos y del electrolito, se generan durante el proceso electroquímico, oxiradicales con un poder oxidante superior al de cualquier sustancia química oxidante convencional, los cuales dan lugar a la oxidación de la materia orgánica, dando como productos CO_2 y H_2O (Martín de Vidales, 2015; Cifuentes et al., 2015).

Los agentes oxidantes con mayor potencial redox es el radical hidroxilo, que puede ser electro generado en el ánodo por la descomposición oxidativa del agua:



Los radicales hidroxilos son agentes oxidantes muy enérgicos con una vida media muy corta, de forma que pueden reaccionar rápidamente, bien con especies a las que oxida, bien combinándose entre sí para generar oxígeno y la oxidación del agua sería la reacción principal de este proceso (Martín de Vidales, 2015).



En esta investigación se emplean los procesos de oxidación electroquímica, que se base en la electrolisis llevándose a cabo una reacción de intercambio de electrones, con aporte

de corrientes eléctricas a través de unas superficies metálicas denominadas electrodos, situadas en un reactor electrolítico.

En este reactor electrolítico, el agua del efluente de la industria textil entra en contacto con superficies sólidas (electrodos) que directamente están involucradas en la reacción y donde tienen lugar los procesos de oxidación (pérdida de electrones) y reducción (adición de electrones) sobre los compuestos que contiene la disolución. La energía eléctrica se suministra por medio de una fuente de alimentación de corriente continua. El electrodo conectado al polo negativo de la fuente de alimentación se denomina cátodo, donde tiene lugar la semireacción de reducción (transferencia electrónica desde el electrodo), mientras que el electrodo conectado al polo positivo se denomina ánodo, y en él se lleva a cabo la semireacción de oxidación (transferencia electrónica hacia el electrodo). De esta forma, las reacciones que tienen lugar en cada uno de los electrodos son las siguientes:



Generándose así un flujo de electrones desde el ánodo al cátodo. Así pues, para mantener el balance de cargas, es necesario que en agua a tratar haya presencia de aniones, iones que transporten cargas negativas hacia el ánodo, y de cationes, que transportan cargas positivas hacia el cátodo. De esta forma, para que se produzca este tránsito electrónico la disolución reactante debe ser conductora iónica. En la figura 1 se muestra el esquema de una celda electroquímica (Martín de Vidales, 2015).

Figura 1

Esquema de una celda electroquímica

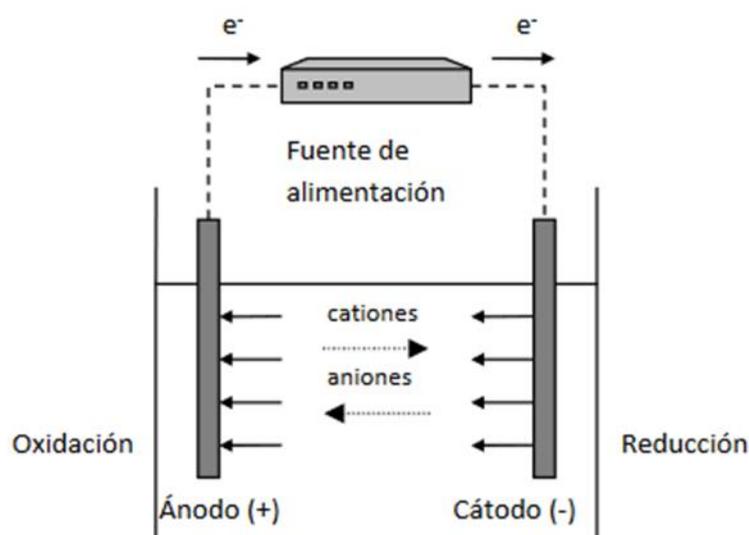
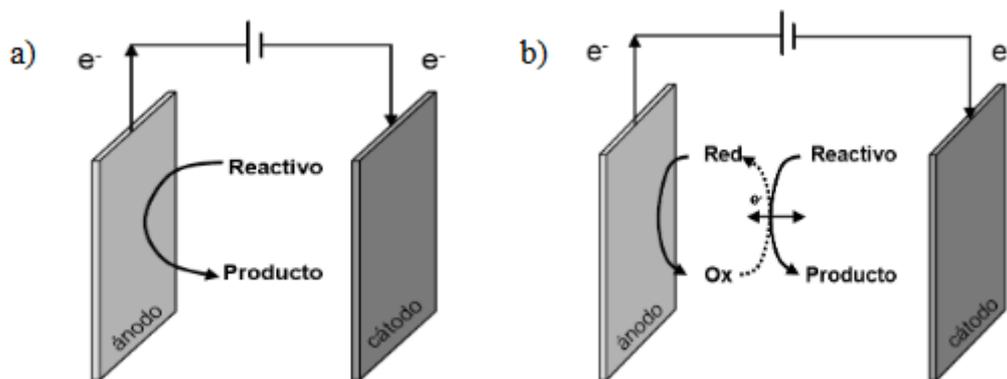


Figura 2

Mecanismos de oxidación en un reactor electroquímico. a) Reacción directa. b) Reacción indirecta

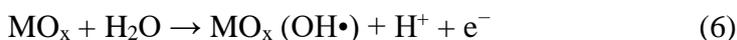


En la figura 2 se presentan los mecanismos de reacción electroquímicos, pueden ser: los procesos anódicos con oxidación directa y los procesos de oxidación indirecta, esto es debido a que en los procesos de oxidación electroquímica, tiene especial interés la presencia de los agentes oxidantes/reductores, que son los encargados de desencadenar la reacción redox (reducción-oxidación) (Martín de Vidales, 2015). Es de conocimiento investigativo que los procesos electroquímicos avanzados de oxidación son muy eficaces para el tratamiento de aguas residuales por las características básicas de trabajo: trabaja a presión atmosférica, temperatura inferior a 100°C, La velocidad de la reacción está comandada por la densidad de corriente aplicada (A/m²), entre otros (Bes Monge et al., 2016).

La electroquímica aplicada al tratamiento de efluentes contaminados con compuestos orgánicos lleva a reducirlos, transformarlos o eliminarlos (Patiño et al., 2012). La oxidación electroquímica, se basa en la generación de especies oxidantes a través de la imposición de una diferencia de potencial entre 2 placas metálicas. Con la aplicación de estos procesos se logra la oxidación total (mineralización) o parcial (conversión de la materia orgánica a compuestos más sencillos como CO₂ y H₂O que más fácilmente degradables y menos contaminantes) de la materia orgánica (López et al., 2021).

Los mecanismos de reacción con electrodos de Fe₂O₃, es la reproducción de radicales hidroxilo debido a la electrolisis del agua, y los radicales •OH quedan fisisorbidos en la superficie del material del electrodo (ánodo) Este mecanismo de reacción se da en forma no selectiva entre las sustancias orgánicas contaminantes con los radicales hidroxilos

(OH•), lográndose la oxidación total; o sea, la mineralización hasta CO₂ y agua de acuerdo a la reacción (7) (López-Ojeda et al., 2015).



Así, experimentalmente se indica que la eficiencia de un proceso de tratamiento de aguas residuales estriba de varios factores y variables, que se pueden abarcar en las condiciones experimentales, los métodos analíticos y las condiciones de operación. Las variables de control que se destacan por su influencia en el proceso: electrolito de soporte, pH del medio, temperatura, concentración del compuesto orgánico, y el tipo de material anódico donde se llevarán a cabo las reacciones de oxidación (López-Ojeda et al., 2015).

Metodología

La experimentación se fundamentó en los principios de oxidación electroquímica aplicando la reacción electrolítica de oxidación directa por la cual se realizó la depuración de los contaminantes refractarios presentes en un efluente textil industrial con el propósito de disminuir el color, turbiedad, DQO, metales, suspendidos, para lo cual se midieron las concentraciones de los mismos antes y después del tratamiento con el fin de determinar el porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros evaluados (Gilpavas, 2008).

Se recolectaron aproximadamente 40 gal de un efluente residual de una industria textil, ubicada en el Km 16,5 de la vía a Daule, del tinturado de algodón luego del tratamiento primario (cribado, desarenado y sedimentación primaria). Las muestras se almacenaron en contenedores de plástico a 4°C para su transporte, evitando la degradación de compuestos, de acuerdo a los procedimientos (Baird & Eaton, 2017).

Para el estudio por oxidación electroquímica se utilizó reactor discontinuo cilíndrico de vidrio refractario con capacidad de 0.865 litros tipo batch (figura 1), empleando electrodos de placas planas de hierro con medidas de 8 cm x 5 cm y 0,18 cm de espesor, un área efectiva de reacción total del hierro activo es de Aa=40,83 cm². La Celda para electro oxidación, con las siguientes características en 3 series 3 paralelos; en 2 series 2 paralelo y en 2 series, la separación entre electrodos de 6 mm, 12 mm y 18 mm respectivamente. y se conectaron a una fuente de energía, DC Power supply 3005B (0 – 20 A/ 0 - 30 V) marca Protek, la corriente directa variable accionada por un potenciómetro con diferentes valores de amperaje.

Espectrofotómetro. Marca HACH; modelo DR 2010. Tiene cuatro celdillas de cristal para los análisis, y un adaptador plástico para medir los reactivos de DQO. Fuente de poder y cables de conexión a la red de energía eléctrica.

Bomba manual para muestras. Está conformada con materiales inertes para que no influyan en el resultado al extraer las muestras parciales desde el seno del reactor discontinuo. Cuenta con un volumen de traslado de 10 mm, por cada vez que se acciona

Digestor. Spectroquant ® Marca MERCK; modelo T320. Digiere el reactivo para la determinación de DQO (solución de digestión COD HR).

Multímetro digital (Modelo DT9208A). Permite realizar la valoración en tiempo real de las variables de operación, tal como la tensión, temperatura, resistencia, entre otros.

Un sistema de desagüe para la recolección de la espuma y flóculos, formados por la desestabilización de las partículas coloidales.

La caracterización inicial del agua se realizó por triplicado en el Laboratorio de aguas de la Facultad de Ingeniería Química en la Universidad de Guayaquil y en el Laboratorio ELICROM, los valores promedios obtenidos se presentan en la tabla 1, junto con el límite permisible de descarga a sistema de alcantarillado público, establecidos en la legislación ecuatoriana (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015).

Tabla 1

Caracterización inicial de muestra (agua cruda). Parámetros Fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite de descarga a sistema de alcantarillado publico
Cadmio (Cd)	mg/L	0.37	0.02
Cobalto (Co)	mg/L	1.65	0.5
Cobre (Cu)	mg/L	0.50	1.0
Cromo Hexavalente (Cr ⁶⁺)	mg/L	10.10	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	1.64	10
Plomo (Pb)	mg/L	0.0337	0.2
Tensos activos	mg/L	0.038	2.0
Fenoles	mg/L	0.282	0.2
Color verdadero	Pt-Co	38800	1/20
DQO	mg/L	1167	500
SST	mg/L	160	220

Nota: Laboratorio de aguas. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil y Laboratorio ELICROM

Se procedió a realizar experimentos preliminares bajo el criterio de selección, analizando el comportamiento de las variables fisicoquímicas en el medio acuoso, registrando los resultados para determinar los valores de corriente eléctrica, tiempo de tratamiento, pH

óptimos. Habiendo seleccionado las condiciones del arreglo del reactor electroquímico, según la tabla 2, Con cada arreglo en el reactor electroquímico tipo bach con un reservorio en forma de cilíndrica de un volumen neto 0.865 litro con derivación lateral de vidrio transparente refractario. Se realizaron los ensayos por triplicado. Para cada ensayo se colocó en el reactor 0,7 litros de agua residual industrial con una coloración rojo intenso, debido a los colorantes utilizados en esa industria al momento de toma de muestra. La operación se desarrolló a temperatura ambiente (25°C) con agitación constante y pH 11 correspondiente a la muestra. La densidad de corriente fue de 15 voltios y 28,86 amperios. A los 120 seg se evidenció la evolución de la reacción cambiando la coloración del agua, y se extrajeron 50 ml del agua procesada para análisis de eficiencias de remoción de la carga contaminante: color, turbidez, DQO. En la Tabla 3 se muestran los resultados experimentales (por triplicado) con las muestras A, B y C, referente a las tres acomodaciones del reactor.

Tabla 2*Arreglo del reactor electroquímico*

Ensayo	Arreglo	Separación
Combinación A	3 serie – 3 paralelo	6 mm
Combinación B	2 serie – 2 paralelo	12 mm
Combinación C	2 serie	18 mm

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion XVI. Todos los datos experimentales se expresaron como media estadística \pm desviación estándar y se derivaron de ensayos por triplicado. Se aplicó la prueba de Tukey HSD para evaluar la significancia estadística de los datos. El valor de p menor de 0,05 se consideró significativo.

Resultados

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos fueron comparados con los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2015). Determinando que los metales de cadmio, cobalto, cromo hexavalente, plomo, presentan valores superiores a los límites permisibles, de igual forma, los parámetros de color y de DQO presentaron valores superiores al 100% de los límites permisibles (tabla 1).

Descontaminación por oxidación electroquímica:

La muestra del efluente textil al ser sometida a diferentes montajes y separación de electrodos para el tratamiento de oxidación electroquímica, evidencio que los montajes

A, B, C presentaban la transformación del color, eliminación de los contaminantes orgánicos refractarios y compuesto tóxicos entre otros, mismos que se encontraban en la muestra antes de realizar el tratamiento. La descontaminación se da por la oxidación electroquímica que genera oxirradicales con un poder oxidante superior al de cualquier sustancia química oxidante convencional, los cuales dan lugar a la oxidación de la materia orgánica, dando como productos CO₂ y H₂O (Martín de Vidales, 2015; Cifuentes et al., 2015). Los resultados obtenidos se registran por triplicado en la tabla 3 mediante la eficiencia de remoción del DQO, color turbidez, hierro, cromo y cobalto.

Tabla 3

Datos experimentales (por triplicado) con las muestras A, B y C referente a las eficiencias de remoción de la carga contaminante

		EFICIENCIA (%)							
	Color	Turbiedad	Cromo (Cr ⁶⁺)	Hierro	DQO	Níquel	Cobalto	T (°C)	
A	1	75,92	96,63	98,66	90,85	61,01	> 98	67,27	38
	2	85,26	98,89	100	96,34	71,72	> 98	91,67	42
	3	94,85	100	100	98,78	77,12	> 98	91,81	40
B	1	66,38	93,26	98,66	96,34	67,27	> 98	100	38
	2	85,36	93,26	100	96,95	71,12	> 98	83,64	43
	3	92,12	94,38	100	96,95	76,29	> 98	91,82	36
C	1	55,85	93,26	98,91	91,46	62,13	> 98	100	47
	2	57,25	89,89	97,82	91,46	61,52	> 98	100	38
	3	36,46	97,75	98,91	97,56	59,81	> 98	100	39

Partiendo de los datos de la tabla 3 se desarrolló la figura 3 y 4. En la figura 3 se puede observar la eficiencia de remoción de la turbiedad, superior al 90% de eficiencia y para el parámetro DQO, superior al 60%, cabe mencionar que para estos dos parámetros los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, el parámetro de color si mostro diferencia significativa entre los tratamientos, determinando que los tratamientos A y B presentan eficiencia de remoción alrededor del 80% sin ser estadísticamente diferentes, pero el tratamiento C presento una eficiencia de remoción de alrededor del 50% siendo estadísticamente diferente a los tratamientos A y B.

En la figura 4 se puede observar que para el parámetro de cromo hexavalente se presentó valores cercanos a 100% de eficiencia de remoción en los 3 tratamientos sin presentar diferencia significativa, mientras, que para el parámetro de hierro se presentó una eficiencia de remoción superior al 95% sin ser significativamente diferentes entre los tratamientos, por último, para el parámetro de remoción de cobalto la eficiencia fue superior al 80% sin diferencias significativas entre los tratamiento, sin embargo, el

tratamiento C presento la mayor remoción con valores del 100%, seguido por el tratamiento B con una remoción alrededor del 95% y finalmente el tratamiento A con un valor superior al 80%.

Figura 3

Eficiencia de remoción color, turbiedad y DQO. Las letras en minúsculas indican las diferencias estadísticas con significancia ($p < 0.05$) utilizando un ANOVA y prueba de Tukey HSD

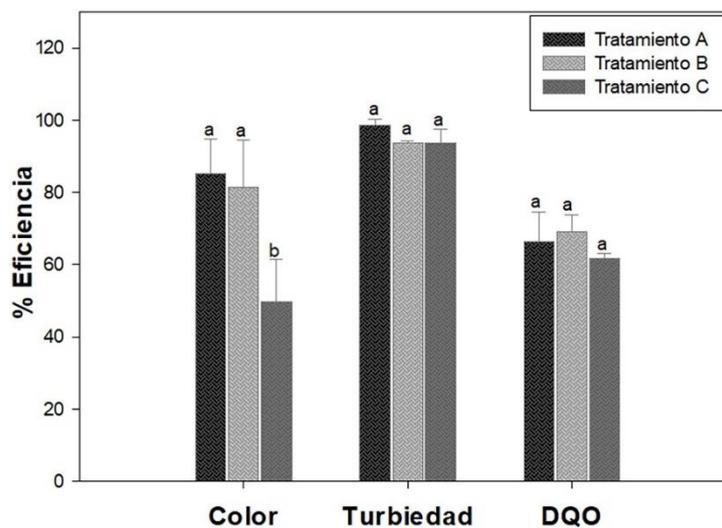
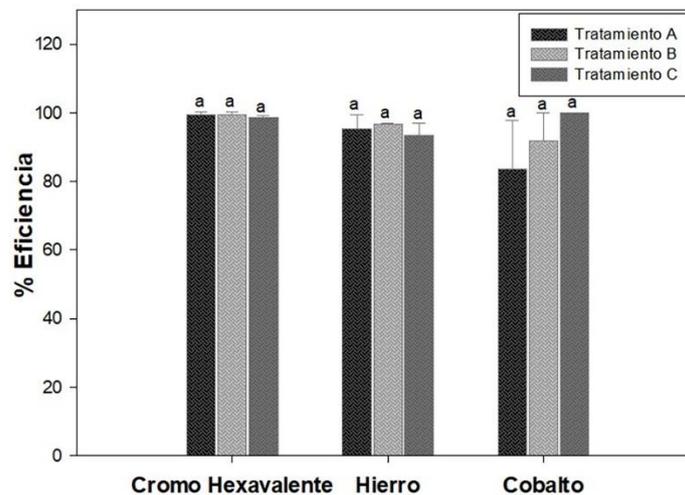


Figura 4

Eficiencia en remoción de cromo hexavalente, hierro y cobalto. Las letras en minúsculas indican las diferencias estadísticas con significancia ($p < 0.05$) utilizando un ANOVA y prueba de Tukey HSD



Al final del tratamiento de oxidación electroquímica, se toman muestras de los tres tratamientos de estudio, para la caracterización final. Los resultados se describen a continuación en la tabla 4.

Tabla 4

Caracterización del agua residual después del tratamiento de oxidación electroquímica

Ensayo	pH	COLOR	TURBIEDAD	DQO	SST
	U. pH	Pt/Co	NTU	mg/L	mg/L
INICIAL	10,77	38800	55,5	1167	160
A	11,34	319	4,31	342	20
B	11,1	238	2,83	338	36
C	10,99	624	2,53	410	30

Nota: Laboratorio de aguas. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil

En esta investigación se logró obtener resultados dentro de lo requerido por la normativa legal vigente (MAE, 2015).

En la tabla 5 se puntualiza las eficiencias (%) obtenidas en los ensayos A, B y C en lo referente a color, turbiedad, DQO, SST que son parámetros esenciales en el tratamiento de aguas residuales y saneamiento ambiental (MAE, 2015). El ensayo B se distingue, como el experimento que mejor respondió a las expectativas iniciales de este estudio.

Tabla 5

Eficiencia de remoción en color, turbiedad, DQO, SST

Ensayo	Eficiencia (%)				
	Color	Turbiedad	DQO	SST	
A	99,18	92,23	70,69	87,5	
B	99,39	94,9	71,04	77,5	
C	98,39	95,44	64,87	81,25	

Conclusiones

- En este proyecto se aplicó el proceso de oxidación electroquímica para tratar aguas residuales de la industria textil, que al momento de la toma de muestra presentó características propias y particulares, derivadas de las actividades de los procesos industriales en el tinturado de algodón. Este procedimiento demuestra su efectividad para remover los contaminantes DQO refractarios: colorantes, metales pesados de un efluente de industria textil, logrando una remoción de 98% de cromo hexavalente, 96,95% de hierro, 91,8% de cobalto, 71,04% de Demanda Química de Oxígeno, 94,9% de color y 77,5% de SST. A demás se evidencia la

virtud de este tratamiento que aumenta la biodegradabilidad de cargas contaminantes llevando a la mineralización (transformación hasta CO₂ y H₂O) que son económicas y efectivas para la disminución de la carga orgánica y su toxicidad buscando garantizar una descarga segura del efluente.

Agradecimiento

A la Universidad de Guayaquil, a la Facultad de Ingeniería Química de la UG.

Referencias Bibliográficas

- Baird Rodger B., & Eaton Andrew D., R. E. W. (2017). Standard methods: For the examination of water and wastewater. In R. E. W. Baird Rodger B., Eaton Andrew D. (Ed.), *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation* (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Bermeo Garay, M., & Tinoco Gómez, O. (2016). Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 19(38), 125–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i38.13578>
- Bes Monge, S. S., Silva, D. A. M., & Bengoa, D. C. (2016). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. In *(Tritón-316Rt0506)*. http://www.cytcd.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf
- Cardoso, J. C., Bessegato, G. G., & Boldrin Zanoni, M. V. (2016). Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization. *Water Research*, 98, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.004>
- Cifuentes, L., Flores, D., Madriz, L., & Vargas, R. (2015). Electrochemical oxidation of lambda-dicyhalotrin on PbO₂-Bi electrodes. *Quimica Nova*, 38(8), 1009–1013. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150107>
- García, J. C., Castellanos, M. P., Uscátegui, Á., Fernández, J., Pedroza, A. M., & Daza, C. E. (2012). Remoción de colorantes sintéticos mediante el proceso Fenton heterogéneo usando Fe₂O₃ soportado en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas. *Universitas Scientiarum*, 17(3), 303–314. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc17-3.rdc>

- Gilpavas, E. (2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. *Cuadernos de Investigación*, 65–072008, 85. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1279>
- Linares-Hernández I., Martínez-Miranda V., Barrera-Díaz C., Pavón-Romero S., & Bernal-Martínez L., L.-L. V. (2011). Oxidación de materia orgánica persistente en aguas residuales industriales mediante tratamientos electroquímicos. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 2(1), 21–36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627681003>
- López-Ojeda G.C., Gutiérrez-Lara Ma. R., & D.-M. A. (2015). Efecto del pH sobre la oxidación electroquímica de fenol empleando un ánodo dimensionalmente estable de SnO₂-Sb₂O₅-RuO₂. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2), 437–452. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382015000200020&script=sci_abstract
- López Ramírez, M. A., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. del R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76–87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2015). *Acuerdo_Ministerial_97a.Pdf*. http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf
- Mansilla, H., Lizama, C., & Gutarra, A. R. J. (2001). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. In M. A. (para C. Blesa (Ed.), *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea* (pp. 285–293). Red CYTED VIII-G. <http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/20cap13.pdf>
- Martín de Vidales, M. J. (2015). *Eliminación de contaminantes orgánicos persistentes de aguas residuales mediante oxidación electroquímica con ánodo de diamante dopado con boro* [Universidad de Castilla-La Mancha]. <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/7172>
- Patiño, K. V., Arroyave, S. M., & Marín, J. M. (2012). Oxidación electroquímica y ozonización aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel. *Información Tecnológica*, 23(2), 41–52. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200006>
- Tinoco, O. R., Medina, A. M., & Zapata, H. (2011). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, 14(2), 9–15.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81622585002>

Zaruma Arias, P. E., Proal Nájera, J. B., & Chaires Hernández, S. A. H. I. (2018). Los Colorantes Textiles Industriales Y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual: Una Breve Revisión Textil e Industrial Dyes and optimal wastewater effluents treatments: A short review. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 19, 38–47.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

