

Tratamiento de agua mediante procesos solares de oxidación avanzada

Water treatment using advanced oxidation solar processes

Andreina González-Morales, Ana Karina Barroso-Solorzano, Raquel Viridiana-Medina Lira, Ramses Antoniibarra-Chávez, Andreea Itzayan-Gonzalez Alejandri, Yessica López-Durán, Sonia Herrera-Chávez, Martín Pacheco-Álvarez, Daniela Kiabeth Partida-Joya, Juan Manuel Peralta-Hernández^{1*}

¹Departamento de Química-DCNE, Laboratorio No. 11, Sede Pueblito de Rocha, Universidad de Guanajuato, juan.peralta@ugto.mx

Resumen

En la presente investigación se llevó a cabo el tratamiento de colorantes utilizados en la industria de la curtiduría mediante la aplicación de procesos electroquímicos de oxidación avanzada, a saber, Electro-Oxidación (EO), Electro-Fenton (EF) y Fotoelectro-Fenton (FEF). Se prepararon los colorantes en altas concentraciones (120 mg/L), de forma individual y en mezcla, aplicando las siguientes densidades de corriente: $j = 20, 40$ y 60 mA/cm^2 . Se utilizó como electrolito soporte Na_2SO_4 , electrodos de diamante dopado con boro (BDD) y dimensionalmente estables (DSA). El abatimiento de color se evaluó mediante determinaciones de espectroscopia UV-vis. Los procesos foto asistidos fueron promovidos por una lámpara de luz UV a $\lambda = 360 \text{ nm}$. En todos los casos el abatimiento de color resultó muy eficiente, cercano al 100% de decoloración.

Palabras clave: tratamiento de agua, colorantes, procesos de oxidación avanzada.

Introducción

El procesamiento de pieles, que de forma técnica se conoce como curtido, forma parte de las actividades productivas más importantes en la región del Bajío Mexicano. Como es bien sabido, desde hace varios siglos, el cuero ha sido materia prima para la fabricación de todo tipo de vestimenta, zapatos y una amplia variedad de accesorios de uso diario. Sin embargo, el curtido de pieles es una fuente importante de contaminación, esto debido a la gran variedad de procesos que se involucran, en los cuales se generan descargas de agua con altos contenidos de DQO, DBO, sólidos suspendidos y color. Es por ello por lo que se han buscado diferentes alternativas de tratamiento, destacando los procesos electroquímicos de oxidación avanzada (PEOA), tales como la Electro-Oxidación (EO), electro-Fenton (EF) y Fotoelectro-Fenton (FEF) (1).

Electro-Oxidación (EO)

La Electro-Oxidación (EO) es un proceso efectivo y amigable con el medio ambiente para remover compuestos orgánicos de aguas residuales. Funciona mediante el paso de una corriente eléctrica a través de dos electrodos sumergidos en una solución acuosa, generando radicales hidroxilos altamente reactivos ($\cdot\text{OH}$) en la superficie del ánodo, comúnmente diamante dopado con boro (BDD), los cuales reaccionan con los compuestos orgánicos provocando su degradación en productos más simples como CO_2 , agua y sales inorgánicas (2):



Electro-Fenton (EF)

El Electro-Fenton (EF) es un proceso que se basa en la producción electroquímica de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), proveniente de la reducción del oxígeno (O_2) que con la adición de Fe^{2+} como catalizador, favorece la producción de radicales $\cdot\text{OH}$. En el sistema debe tener un pH óptimo cercano a 3.0 para evitar la formación de un precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (3,4).





Fotoelectro-Fenton (FEF)

El proceso conocido como Fotoelectro-Fenton (FEF) se fundamenta en las reacciones de Fenton, las cuales abordan la mineralización de compuestos orgánicos mediante el ataque del radical libre hidroxilo que se genera electroquímicamente. En el proceso de FEF se potencia la producción de hidroxilos debido a la exposición de luz ultravioleta (UV) o luz solar. (2)



Metodología

Para los procesos de EO, se utilizaron como electrodos BDD para el ánodo y Grafito para el cátodo, ambos con un área de contacto de 2.5 cm² en las soluciones de colorantes. Asimismo, se evaluó el efecto de tres diferentes densidades de corriente (*j*), (20 mA/cm², 40 mA/cm² y 60 mA/cm²) sobre tres diferentes concentraciones (40 mg/L, 80 mg/L y 120 mg/L) de Rojo Coriasol CB. Para cada experimento se utilizó un electrolito soporte 17.5 mM de NaCl y Na₂SO₄ y se ajustó el pH a 3.0. Se realizó el mismo ensayo de EO para una mezcla de los tres colorantes (Rojo Coriasol CB, Azul VT y Pardo RBH) a una concentración de 120 mg/L y a una densidad de corriente (*j*) de 60 mA/cm². La toma de muestras para ambos experimentos oscila entre 2 a 4 minutos dependiendo de la rapidez de la decoloración.

En el caso del proceso EF, se preparó una solución de 120 mg/L de colorante Rojo Coriasol CB en agua en una celda, a la cual se añadió NaCl y Na₂SO₄ como electrolitos de soporte en una concentración de 17.5 mM, junto con Fe²⁺ en una concentración de 0.2 mM. La solución se ajustó a un pH de 3. Se montó un sistema de Electro Fenton, para el cual se utilizaron electrodos de BDD, y se sumergieron a 1 cm² y se le suministró aire al sistema con una bomba. Todo esto fue homogenizado a agitación constante. Se inició con las experimentaciones de variación de la intensidad de corriente (20 mA/cm², 40 mA/cm² y 60 mA/cm²), cada muestra fue tomada dependiendo de la degradación del colorante, entre 1 a 3 minutos. Posteriormente, se repitió el mismo procedimiento utilizando únicamente una intensidad de corriente de 60 mA para una mezcla de tres colorantes (Rojo Coriasol CB, Azul VT y Pardo RBH), cada uno con una concentración de 40 mg/L, sumando un total de 120 mg/L.

Se montó un sistema para el proceso de FEF, para el cual se utilizaron ánodos dimensionalmente estables (DSA) los cuales estaban a una distancia Inter-electrodo de 1 cm y un área de 2.5 cm², una parrilla de agitación para unificar la transferencia de masa, un vaso de precipitados de 250 mL que contenía la solución, una fuente de poder y una lámpara de luz UV modelo UVSL-25 de la marca Mineralight. Una vez montado el sistema, se inició el proceso variando la intensidad de corriente (20 mA/cm², 40 mA/cm² y 60 mA/cm²), se tomaron muestras cada 1 minuto y se leen las muestras en un espectrofotómetro GBC CINTRA 1010, se midió el pH de cada muestra y se monitorizó el voltaje. Posteriormente se hizo el mismo procedimiento usando únicamente una intensidad de corriente de 60 mA/cm² para una mezcla de tres colorantes (Rojo coriasol CB, Azul VT y Pardo RBH) con una concentración de 40 mg/L de cada uno y 120 mg/L total.

Resultados

La Figura 1 muestra que, en el caso de la electrooxidación, para una alta concentración normalizada, el proceso de remoción de colorante más eficiente y rápido en un ensayo de EO, es aquel que emplea la densidad de corriente mayor (60mA/cm²) con un tiempo de 6 minutos; en comparación con las otras densidades de corriente cuyo tiempo es casi el doble, 11 minutos.

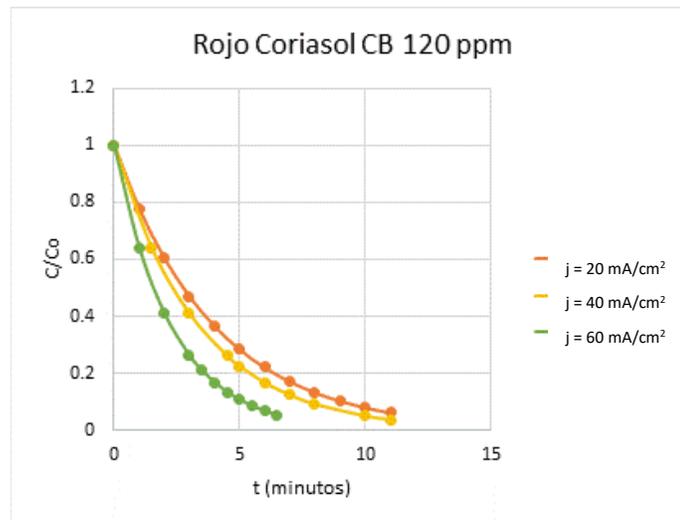


Figura 1. Comparativa del efecto de la densidad de corriente en la remoción del colorante Rojo Coriasol, 120mg/L, mediante EO.

En el caso del EF, Figura 2, es posible observar que la disminución del color aumenta considerablemente conforme se incrementa la densidad de corriente, esto debido a que la adición del Fe^{2+} promueve una mayor cantidad de radicales libres en la solución por acción de la reacción de Fenton. Como se puede apreciar, con la densidad de 60 mA/cm² en 8 minutos se logra la disminución de 98% del color.

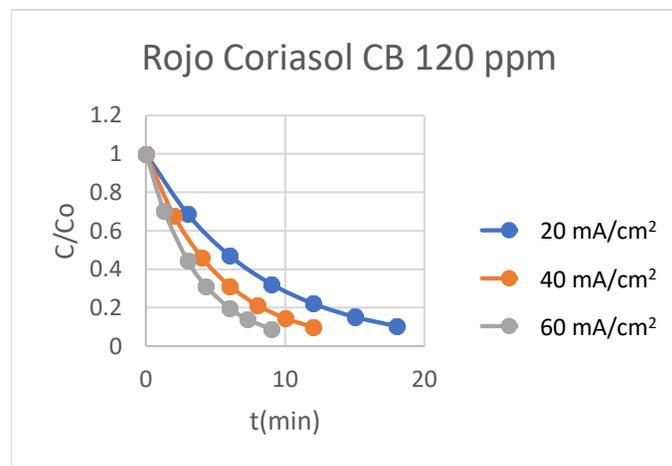


Figura 2. Comparativa del efecto de la densidad de corriente en la remoción del colorante Rojo Coriasol, 120mg/L, bajo la acción del proceso FE.

Como se ha mencionado anteriormente, los proceso fotoasitidos ofrecen mejoras considerables en la degradación de compuestos orgánicos, como se aprecia en la Figura 3, es posible observar que con las tres densidades corriente se alcanza prácticamente el 100% de decoloración después de 12 minutos de tratamiento.

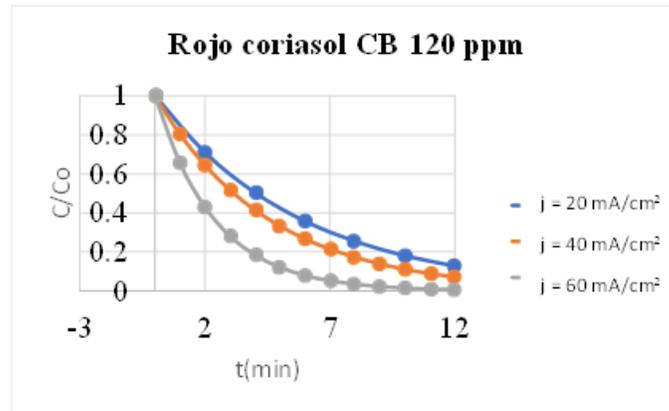


Figura 3. Comparativa del efecto de la densidad de corriente en la remoción del colorante Rojo Coriasol, 120mg/L, bajo la acción del proceso FEF.

Comparación de procesos

En la figura 4 se muestra el resultado en donde se compara la acción de los procesos electroquímicos utilizados para degradar una mezcla de colorantes en concentración de 120 mg/L a la densidad de corriente de 60 mA/cm², en donde es posible observar que el proceso FEF es el más eficiente, pues alcanza la decoloración total de la mezcla después de 20 minutos de tratamiento.

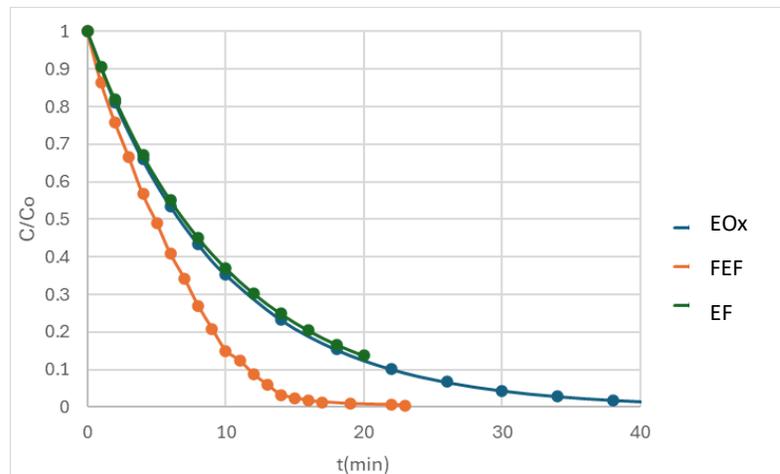


Figura 4. Comparativa del efecto de la densidad de corriente en la remoción de la mezcla de colorantes en 120mg/L, bajo la acción de los diferentes procesos.

Conclusiones

Actualmente el tratamiento de agua de diferentes orígenes es uno de los objetivos principales, por lo que la búsqueda de alternativas para resolverlo es importante, por esta razón, los procesos electroquímicos de oxidación avanzada se presentan como una alternativa viable. En este sentido, con los resultados obtenidos en este verano de investigación son muy alentadores, puesto que se logró degradar tanto colorantes a nivel individual y en mezcla con resultados cercanos al 100% de decoloración, lo cual vislumbra el gran potencial para aplicarlos a nivel industrial.

Bibliografía/Referencias

- (1) Déborah L. Villaseñor-Basulto, Abudukeremu Kadier, Raghuveer Singh, Ricardo Navarro-Mendoza, Erick Bandala, Juan M. Peralta-Hernández. Post-tanning wastewater treatment using electrocoagulation: Optimization, kinetics, and settlement analysed. *Process Safety and Environmental Protection* Volume 165, 2022, 872-886.
- (2) Rodríguez-Narváez, O. M., Picos, A. R., Bravo-Yumi, N., Pacheco-Alvarez, M., Martínez-Huitile, C. A., & Peralta-Hernández, J. M. (2021). Electrochemical oxidation technology to treat textile wastewaters. *Current Opinion In Electrochemistry*, 29, 100806. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2021.100806>
- (3) Rubí Juárez, H. (2020). Procesos de Oxidación Avanzada y Electroquímicos para Remover Edulcorantes Artificiales del Agua. *Cultura Científica y Tecnológica*, 17(1), 1–14. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2020.1.3.1>
- (4) Villaseñor-Basulto, D. L., Picos-Benítez, A., Pacheco-Alvarez, M., Pérez, T., Bandala, E. R., & Peralta-Hernández, J. M. (2022). Tannery wastewater treatment using combined electrocoagulation and electro-Fenton processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107>