VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

De la reacción al resultado: Procesos de Oxidación Avanzada para recuperar la calidad del agua

From Chemistry to Clean Water with Advanced Oxidation Processes

María del Carmen Bárcenas-Grangeno, René de Jesús Méndez-García, Daniela Kiabeth Partida-Joya, Juan Manuel Peralta-Hernández

Departamento de Química-DCNE, Laboratorio de Medio Ambiente y Electroquímica (LMAE), Universidad de Guanajuato, Cerro de la Venada s/n, Pueblito de Rocha, Guanajuato, C.P. 36040, México.
juan.peralta@ugto.mx

Resumen

La presencia de colorantes sintéticos en aguas residuales representa un problema ambiental debido a su elevada estabilidad y resistencia a los tratamientos convencionales. En este trabajo se evaluó la eficiencia del proceso Fotoelectro-Fenton (FEF) para la decoloración de seis colorantes utilizados en la industria del curtido, agrupados en tres familias comerciales: olivos, pardos y violetas. Se estudiaron los colorantes de manera individual, mezclas binarias por familia y una mezcla multicomponente de 600 ppm, integrada por 100 ppm de cada colorante. Los tratamientos se realizaron en un reactor discontinuo bajo irradiación UV y, para la mezcla multicomponente, también bajo radiación solar. Adicionalmente, se evaluó el proceso a mayor escala empleando un reactor solar de Colector Parabólico Compuesto (CPC) con 30 L de solución. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre las familias de colorantes, así como el potencial del FEF para el tratamiento de mezclas complejas y su aplicación en sistemas de mayor escala.

Palabras clave: Fotoelectro-Fenton; colorantes industriales; aguas residuales; degradación electroquímica; energía solar; colector parabólico compuesto (CPC).

Introducción

El crecimiento acelerado de las industrias textil, curtidora, farmacéutica, alimentaria y papelera ha provocado un incremento considerable en la generación de aguas residuales que contienen colorantes sintéticos. Estos compuestos se caracterizan por su elevada estabilidad química y fotoquímica, resistencia a la biodegradación y fuerte afinidad por los materiales que colorean, propiedades que dificultan su eliminación mediante tratamientos convencionales (Brillas & Peralta-Hernández, 2024; Magdaleno *et al*., 2024). Como consecuencia, una fracción importante de los colorantes utilizados en los procesos industriales es descargada en cuerpos de agua, donde afecta la penetración de la luz solar, altera los procesos fotosintéticos de los ecosistemas acuáticos y puede generar productos de degradación potencialmente tóxicos para organismos acuáticos y seres humanos (Ewuzie *et al*., 2022).

Entre las alternativas más prometedoras para el tratamiento de estos efluentes destacan los Procesos Electroquímicos de Oxidación Avanzada (PEOAs), capaces de generar especies altamente oxidantes directamente en el medio de reacción para degradar contaminantes orgánicos persistentes (Brillas & Peralta-Hernández, 2024). Estos procesos se basan principalmente en la producción de radicales hidroxilo (•OH), considerados entre los oxidantes más potentes para la degradación de materia orgánica recalcitrante (Brillas & Peralta-Hernández, 2024). Dentro de los PEOAs, el proceso Fotoelectro-Fenton (FEF) ha despertado gran interés debido a la sinergia entre la producción electroquímica de peróxido de hidrógeno, la reacción de Fenton y la irradiación luminosa. Esta combinación favorece la generación continua de radicales hidroxilo y acelera significativamente la degradación de los contaminantes orgánicos (Clematis & Panizza, 2021).

La eficiencia de los PEOAs depende en gran medida de los materiales empleados en los electrodos, siendo los electrodos de óxidos mixtos una de las opciones más utilizadas debido a su elevada estabilidad electroquímica, resistencia a la corrosión y capacidad para promover la generación de especies oxidantes en solución (Trasatti, 2000). Diversos estudios han demostrado que la integración de estos electrodos en

procesos Electro-Fenton y Fotoelectro-Fenton permite alcanzar elevadas velocidades de degradación y mineralización de colorantes industriales, incluso al tratar mezclas complejas de contaminantes (Brillas, 2020).

Actualmente, uno de los principales retos para la implementación de estas tecnologías consiste en reducir los requerimientos energéticos asociados al uso de fuentes artificiales de radiación. En este sentido, la utilización de la luz solar en los procesos Fotoelectro-Fenton representa una alternativa sostenible y económicamente atractiva. La tecnología Fotoelectro-Fenton Solar (SPEF) aprovecha la radiación natural para favorecer la regeneración del catalizador férrico y aumentar la producción de radicales oxidantes sin incrementar el consumo eléctrico (Brillas, 2020).

Por ello, el tratamiento de mezclas de colorantes industriales mediante Fotoelectro-Fenton utilizando ánodos dimensionalmente estables y radiación solar representa una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales. La combinación de procesos electroquímicos avanzados con el aprovechamiento de la energía solar puede contribuir al desarrollo de tecnologías más sostenibles para la remoción de contaminantes y ampliar el conocimiento en un campo que aún permanece poco explorado.

Metodología

Preparación de soluciones y curvas de calibración

Se evaluaron seis colorantes empleados en procesos de teñido de cuero, agrupados en tres familias comerciales: pardos (Pardo 5VR y Pardo NT), olivos (Olivo N y Olivo SG) y violetas (Violeta RL y Violeta 5BL). Además de los colorantes individuales, se prepararon mezclas correspondientes a cada familia y una mezcla multicomponente integrada por los seis colorantes estudiados.

Para la cuantificación espectrofotométrica, se prepararon soluciones patrón de cada colorante individual y de las mezclas a concentraciones de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200 ppm. La absorbancia de cada solución se determinó mediante un espectrofotómetro UV-Vis Cintra 1010 (GBC Scientific Equipment) y, a partir de los valores obtenidos, se construyeron las respectivas curvas de calibración.

Previamente a los ensayos de degradación, se determinaron espectrofotométricamente las longitudes de onda de máxima absorbancia (λ_{max}) para cada sistema. Los valores obtenidos fueron 410 nm para Pardo 5VR, 439 nm para Pardo NT, 418 nm para la mezcla de pardos, 574 nm para Olivo SG, 415 nm para Olivo N, 451 nm para la mezcla de olivos, 544 nm para Violeta 5BL, 548 nm para Violeta RL, 548 nm para la mezcla de violetas y 448 nm para la mezcla multicomponente de los seis colorantes.

Preparación de las mezclas de colorantes

Para evaluar el efecto del incremento en la complejidad del sistema, se prepararon mezclas correspondientes a cada familia de colorantes. Cada mezcla presentó una concentración total de 200 ppm y estuvo constituida por 100 ppm de cada uno de los dos colorantes de la familia correspondiente. Adicionalmente, se preparó una mezcla multicomponente con una concentración total de 600 ppm, integrada por 100 ppm de cada uno de los seis colorantes estudiados.

Tratamiento por fotoelectro-Fenton

Los experimentos de degradación se realizaron mediante el proceso Fotoelectro-Fenton (FEF) en un reactor discontinuo de tanque agitado con un volumen de trabajo de 100 mL. Previamente al inicio de cada experimento, el pH de las soluciones se ajustó a valores inferiores a 3.0. Asimismo, se adicionó cloruro de sodio (NaCl) como electrolito soporte a una concentración de 50 mM y sulfato ferroso ($FeSO_4$) como catalizador de la reacción a una concentración de 0.2 mM. El oxígeno se suministró mediante una bomba de aireación y los ensayos se llevaron a cabo bajo irradiación ultravioleta utilizando una lámpara modelo UVSL-25 (Mineralight).

La celda electroquímica estuvo constituida por un electrodo de óxidos metálicos mixtos (MMO), también conocido como ánodo dimensionalmente estable (DSA), y un electrodo de grafito. Ambos electrodos

presentaron un área superficial activa de 2 cm² y se colocaron a una distancia interelectródica de 1 cm. Durante los experimentos se aplicó una densidad de corriente constante de 100 mA/cm².

Seguimiento espectrofotométrico de los tratamientos

Durante los tratamientos mediante FEF se recolectaron alícuotas a intervalos definidos en función de la velocidad de decoloración observada para cada familia. Para los colorantes violetas y su respectiva mezcla, el muestreo se realizó cada 20 s, mientras que, para los colorantes pardos, olivos y sus respectivas mezclas, las muestras se recolectaron cada 4 min.

Para la mezcla multicomponente de 600 ppm, integrada por 100 ppm de cada colorante, las muestras se recolectaron cada 4 min. Este sistema fue evaluado tanto bajo irradiación UV como bajo radiación solar, con el propósito de analizar el comportamiento del proceso FEF al emplear una fuente de irradiación artificial y una fuente natural en una matriz de mayor complejidad.

Adicionalmente, se llevó a cabo la degradación de la mezcla multicomponente mediante el proceso Fotoelectro-Fenton utilizando un reactor solar de tipo CPC (Colector Parabólico Compuesto), bajo las condiciones experimentales previamente establecidas. Para este ensayo se emplearon 30 L de una solución con una concentración total de 600 ppm. Debido al mayor volumen de reacción, las muestras se recolectaron cada 10 min durante los primeros 20 min de tratamiento; posteriormente, el intervalo de muestreo se incrementó a 20 min.

Resultados y discusión

Degradación individual de los colorantes

La eficiencia del proceso Fotoelectro-Fenton (FEF) se evaluó inicialmente sobre seis colorantes, agrupados en tres familias: olivos, pardos y violetas. Los experimentos se realizaron bajo condiciones comparables de concentración inicial y densidad de corriente, lo que permitió analizar la influencia de la naturaleza del colorante sobre la velocidad de decoloración (Figura 1). Para cada sistema se consideraron como parámetros de respuesta la constante cinética (k), el porcentaje de remoción y el tiempo de tratamiento. La evaluación conjunta de estos parámetros permite comparar no solo la extensión final de la remoción, sino también la velocidad aparente del proceso. Además, se ha demostrado que variables como el tipo de colorante, su concentración y las condiciones electroquímicas pueden modificar significativamente la respuesta del tratamiento (Bravo-Yumi *et al*., 2022).

En términos generales, el proceso FEF permitió reducir la concentración relativa de todos los colorantes estudiados; sin embargo, se observaron diferencias importantes entre las tres familias (Tabla 1). Este comportamiento concuerda con investigaciones previas en las que se ha reportado que los colorantes utilizados en la industria del curtido pueden presentar respuestas diferentes frente a procesos de oxidación avanzada, dependiendo de la naturaleza del compuesto y de las condiciones experimentales empleadas (Medrano-Rodríguez *et al*., 2020; Bravo-Yumi *et al*., 2022).

***Tabla 1**. Valores de K, porcentaje de remoción y tiempo de degradación entre colorantes.*

200 ppm a 50 mA/cm² (DSA-GRAFÍTO)				
FAMILIA	COLORANTE	k	%R	Tiempo (min)
Olivos	Olivo SG	0.0309	77.1770	40
	Olivo N	0.0492	83.9280	40
	Mezcla Olivos	0.0412	74.6260	40
Pardos	Pardo NT	0.0710	89.3392	28
	Pardo 5VR	0.0735	90.6331	32

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

	Mezcla Pardos	0.0446	72.9146	28
Violetas	Violeta RL	1.6937	86.9056	1.3
	Violeta 5BL	1.5733	91.8571	1.67
	Mezcla Violetas	1.1297	95.1599	2.67
Mezcla 600 ppm	Mezcla Lab	0.0534	79.3739	32
	Mezcla Solar	0.0735	88.9368	32
	Mezcla reactor CPC	0.0133	80.0330	120

Los colorantes olivos presentaron el comportamiento más lento, con porcentajes de remoción de hasta 83 % para el Olivo N en un tiempo de 40 min. Aunque ambos fueron sometidos a condiciones equivalentes, la mayor constante cinética del Olivo N indica una decoloración más rápida. La diferencia observada entre ambos colorantes muestra que la pertenencia a una misma familia no implica necesariamente una respuesta similar frente al proceso FEF. La oxidación de un colorante puede depender de la naturaleza de su estructura molecular, de la accesibilidad de los sitios susceptibles al ataque oxidativo y de la estabilidad de los sistemas conjugados responsables de la absorción en la región visible. En este sentido, se ha reportado que el tipo de colorante constituye una variable relevante en el desempeño de los procesos electroquímicos de oxidación, por lo que diferentes compuestos pueden presentar velocidades y eficiencias de remoción distintas aún bajo condiciones experimentales comparables (Bravo-Yumi *et al*., 2022).

En el caso de la familia de los pardos, se alcanzaron porcentajes de remoción cercanos al 90 % para los colorantes individuales en tiempos de 28 a 32 min, con constantes cinéticas similares entre sí. Estudios realizados con colorantes pardos diazoicos han demostrado la elevada capacidad de los procesos electroquímicos para promover su decoloración y eliminación, aunque el desempeño puede variar en función del compuesto tratado y de las condiciones operativas del sistema (Medrano-Rodríguez *et al*., 2020). Asimismo, la incorporación de irradiación al proceso Electro-Fenton favorece rutas fotoquímicas adicionales y la regeneración del catalizador ferroso, contribuyendo a intensificar el tratamiento de contaminantes orgánicos (Clematis & Panizza, 2021; Brillas, 2023).

La respuesta más rápida fue en la familia de los violetas. El Violeta RL alcanzó una remoción de 86 % en aproximadamente 1.3 min, con una constante cinética de 1.6937 min^{-1}, mientras que el Violeta 5BL presentó 91 % de remoción en aproximadamente 1.67 min y $k = 1.5733\ min^{-1}$. Estos valores evidencian una decoloración extremadamente rápida. La marcada diferencia respecto a olivos y pardos confirma que la naturaleza del colorante influye significativamente sobre la cinética del tratamiento (Bravo-Yumi *et al*., 2022). Por tanto, el comportamiento observado no corresponde a una variación menor entre colorantes, sino a una diferencia marcada en la velocidad aparente de pérdida del color.

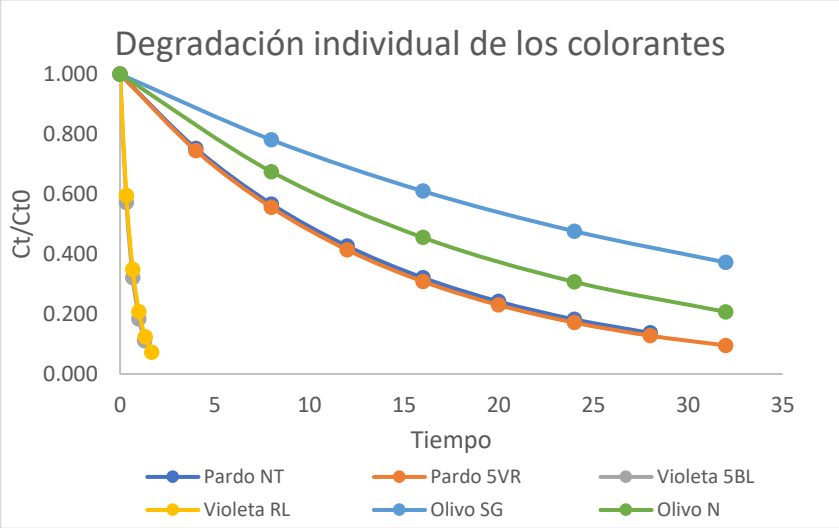

Figura 1. Degradación individual de los colorantes Pardo NT, Pardo 5VR, Olivo SG, Olivo N, Violeta RL y Violeta 5BL mediante el proceso Fotoelectro-Fenton, expresada como concentración relativa (C_t/C_0) en función del tiempo de tratamiento.

Comparación del comportamiento entre familias

Una vez establecido el comportamiento individual de los seis colorantes, se evaluaron mezclas formadas por los dos integrantes de cada familia. Esta etapa incrementó la complejidad del sistema (Figura 2), ya que en una misma solución coexistieron diferentes especies orgánicas susceptibles de reaccionar con los oxidantes generados durante el proceso FEF. La evaluación de mezclas resulta relevante debido a que el comportamiento de sistemas multicomponente puede diferir del observado para contaminantes individuales, tal como se ha reportado en estudios previos (Bravo-Yumi *et al*., 2022; Bravo-Yumi *et al*., 2024).

La mezcla de olivos presentó una constante cinética de 0.0412 min^{-1} y alcanzó una remoción del 74.63 % después de 40 min. Este comportamiento sugiere que la coexistencia de ambos colorantes modificó la respuesta global del sistema. En una mezcla, las especies oxidantes generadas no reaccionan con un único compuesto, sino potencialmente con múltiples moléculas y con los intermediarios formados durante su transformación. Por ello, la capacidad oxidante del sistema puede distribuirse entre diferentes rutas de reacción, dando lugar a una respuesta distinta a la observada para los compuestos individuales (Bravo-Yumi *et al*., 2022; Bravo-Yumi *et al*., 2024).

Una tendencia más marcada se observó en la mezcla de pardos. Mientras que los colorantes individuales presentaron constantes cinéticas de 0.0710 y 0.0735 min^{-1}, la mezcla alcanzó una constante de 0.0446 min^{-1}, con una remoción del 72.91 % a los 28 min. Entre las tres familias, este resultado constituye una evidencia clara de que el comportamiento de una mezcla no puede predecirse únicamente a partir del desempeño de sus componentes individuales. Esto demuestra que la composición del sistema puede modificar el desempeño electroquímico debido a la interacción conjunta de variables como el tipo de colorante, la concentración y las condiciones de operación (Bravo-Yumi *et al*., 2022).

El comportamiento de la mezcla de violetas fue diferente. Esta alcanzó una remoción del 95.16 % en aproximadamente 2.67 min, con una constante cinética de 1.1297 min^{-1}. Aunque el valor de *k* disminuyó respecto al de los colorantes individuales, la remoción final fue superior a la obtenida para ambos. Este resultado muestra que el aumento en la complejidad del sistema no produjo el mismo efecto en todas las familias. Mientras que en los olivos y pardos las mezclas presentaron menores porcentajes de remoción que los compuestos individuales, en los violetas la mezcla alcanzó el mayor porcentaje de remoción de toda la familia, aunque con una constante cinética menor. Por tanto, los resultados sugieren que la coexistencia de

colorantes puede afectar de manera diferente la velocidad y la extensión final de la decoloración, dos parámetros que no deben interpretarse como equivalentes (Bravo-Yumi *et al*., 2022; Bravo-Yumi *et al*., 2024).

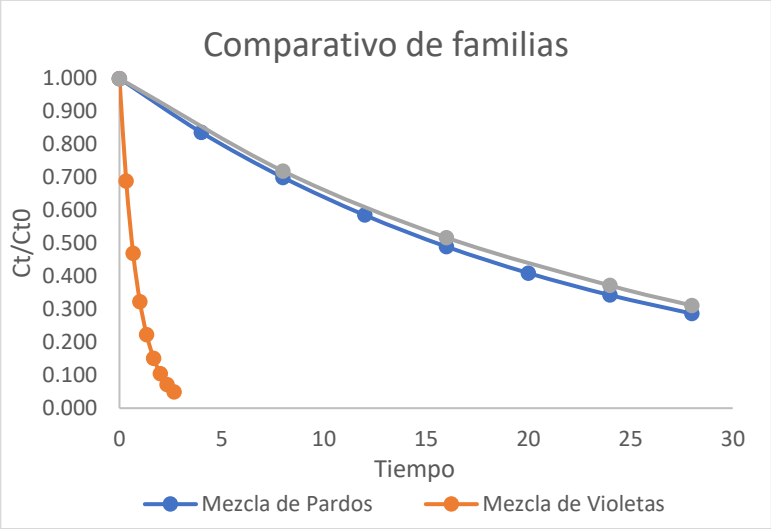

Figura 2. Evolución de la concentración relativa (C_t/C_0) de las mezclas de colorantes pardos, olivos y violetas durante el tratamiento mediante Fotoelectro-Fenton. Cada mezcla estuvo constituida por dos colorantes de la misma familia, con una concentración total inicial de 200 ppm (100 ppm de cada colorante).

Mezcla multicomponente

Con el propósito de incrementar la complejidad del sistema, se evaluó una mezcla constituida por los seis colorantes estudiados bajo condiciones de laboratorio y radiación solar (Figura 3). A diferencia de los sistemas individuales y de las mezclas por familia, esta matriz reunió simultáneamente compuestos con comportamientos cinéticos muy diferentes, representando un escenario más exigente para el proceso. El estudio de matrices multicomponente resulta relevante para avanzar hacia condiciones de tratamiento más representativas de los efluentes industriales, donde normalmente coexisten diversos contaminantes y productos de transformación (Rodríguez-Narváez *et al*., 2021; Bravo-Yumi *et al*., 2024).

Bajo condiciones de laboratorio, la mezcla presentó una disminución progresiva de la concentración, alcanzando una remoción del 79.37 % a los 32 min y una constante cinética aparente de 0.0534 min^{-1}. Estos resultados muestran que, a pesar del incremento en el número de componentes, el proceso mantuvo una capacidad significativa de remoción. Este comportamiento evidencia que las matrices multicomponente pueden presentar una dinámica más compleja que las soluciones de un único contaminante, debido a la coexistencia de diferentes compuestos orgánicos y productos de transformación (Bravo-Yumi *et al*., 2024).

El sistema bajo radiación solar mostró un comportamiento más favorable, alcanzando una remoción del 88.94 % a los 32 min, con una constante cinética de 0.0735 min^{-1}. Este resultado sugiere que la contribución de la radiación solar favoreció la fotoreducción de especies férricas y la regeneración de Fe^{2+}, contribuyendo a mantener activo el ciclo catalítico de Fenton e incrementando la capacidad oxidante del tratamiento (Clematis & Panizza, 2021; Brillas, 2023). Estudios recientes también han destacado el potencial del Fotoelectro-Fenton solar para el tratamiento de matrices acuosas complejas y su posible escalamiento mediante el aprovechamiento de una fuente renovable de irradiación (Pacheco-Álvarez *et al*., 2025).

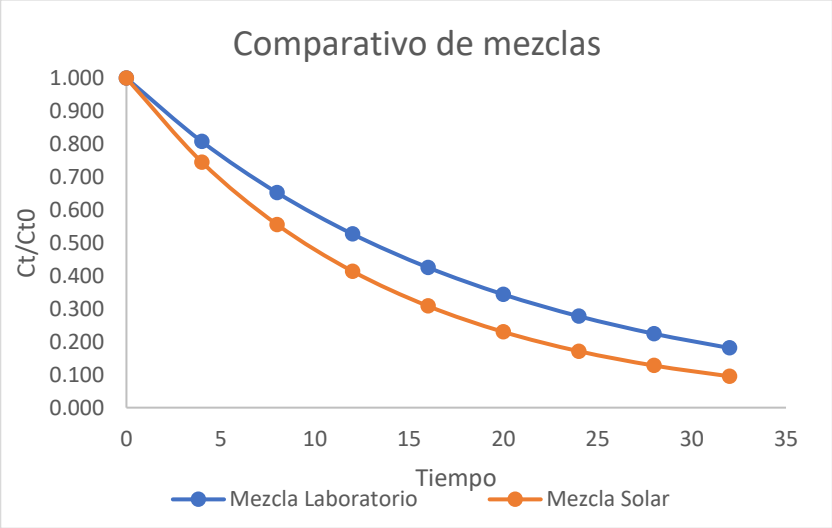

Figura 3. F Comparación de la evolución de la concentración relativa (C_t/C_0) de la mezcla multicomponente de los seis colorantes durante el tratamiento mediante Fotoelectro-Fenton bajo irradiación UV en laboratorio y radiación solar. La mezcla presentó una concentración inicial total de 600 ppm, constituida por 100 ppm de cada colorante estudiado.

Evaluación de la mezcla en reactor tipo CPC

Los resultados (Figura 4) muestran una disminución progresiva de la concentración relativa del colorante, alcanzando una remoción del 80 % después de 120 min. El sistema presentó una constante cinética de 0.0133 min^{-1}, valor inferior al obtenido para la mezcla tratada en los sistemas de tanque agitado. Esta diferencia era esperable debido al incremento del volumen de reacción y a las variaciones inherentes en la distribución de la radiación solar y la transferencia de masa dentro del reactor, factores que suelen modificar la velocidad aparente de degradación en sistemas de mayor escala (Brillas, 2023; Pacheco-Álvarez *et al*., 2025).

A pesar de la disminución de la constante cinética, el proceso mantuvo una elevada capacidad de remoción, lo que demuestra que el Fotoelectro-Fenton conserva su eficacia al incrementar el volumen de tratamiento. Este resultado coincide con estudios recientes realizados en reactores solares tipo CPC, donde se ha reportado que el escalamiento del proceso permite mantener altas eficiencias de eliminación de contaminantes, aunque generalmente con velocidades aparentes menores que las observadas en sistemas de laboratorio, debido a la mayor complejidad hidráulica y a la dependencia de la irradiación solar disponible (Brillas, 2023; Pacheco-Álvarez *et al*., 2025).

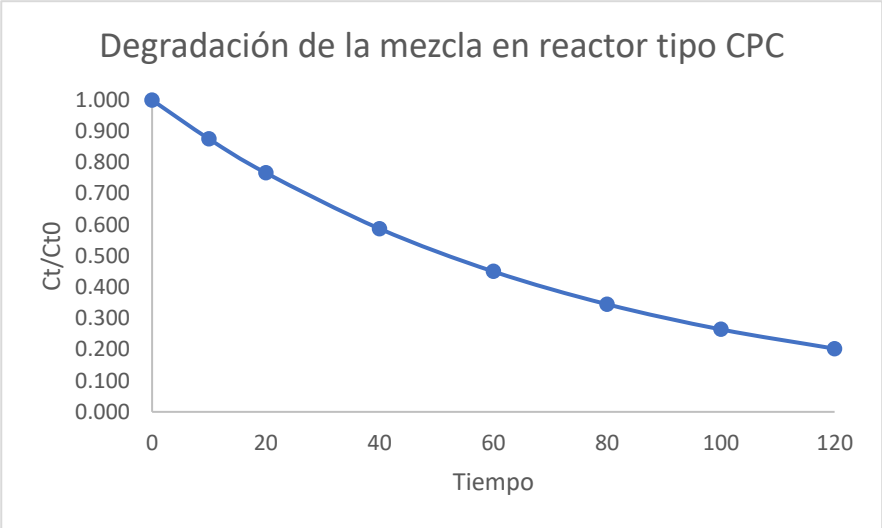

Figura 4. Evolución de la concentración relativa (C_t/C_0) de la mezcla multicomponente durante el tratamiento mediante Fotoelectro-Fenton en un reactor solar tipo CPC. La mezcla presentó una concentración inicial total de 600 ppm, constituida por 100 ppm de cada uno de los seis colorantes estudiados, y se trató empleando un volumen de reacción de 20 L.

Conclusiones

Los resultados demostraron que el proceso Fotoelectro-Fenton constituye una alternativa eficaz para la remoción de colorantes industriales presentes tanto de manera individual como en mezclas de diferente complejidad. Aunque todos los sistemas evaluados respondieron favorablemente al tratamiento, se observaron diferencias marcadas en su comportamiento cinético, evidenciando que la naturaleza del colorante influye directamente en la velocidad aparente de decoloración. La evaluación de las mezclas por familia permitió observar que el incremento en la complejidad del sistema modifica la respuesta frente al FEF y que el comportamiento de una mezcla no puede predecirse únicamente a partir de sus componentes individuales. Estos resultados confirman que la velocidad del proceso y la extensión final de la remoción son parámetros complementarios y no necesariamente equivalentes.

Por otra parte, el tratamiento de la mezcla multicomponente de 600 ppm demostró que el FEF conserva una importante capacidad de remoción aun frente a matrices de mayor complejidad, alcanzando remociones de hasta el 88 % en un reactor de tanque agitado bajo radiación solar. Finalmente, el tratamiento de esta mezcla en un reactor solar tipo CPC permitió alcanzar una remoción del 80.03 %, manteniendo una elevada eficiencia pese al incremento considerable del volumen tratado, lo que representa un resultado relevante desde la perspectiva del escalamiento. En conjunto, estos hallazgos muestran que el Fotoelectro-Fenton posee un gran potencial para el tratamiento de sistemas complejos de colorantes industriales y que su integración con radiación solar y reactores CPC constituye una estrategia prometedora para avanzar hacia aplicaciones de mayor escala y representatividad ambiental.

Referencias

Bravo-Yumi, N., Pacheco-Álvarez, M., Bandala, E. R., Brillas, E., & Peralta-Hernández, J. M. (2022). Studying the influence of different parameters on the electrochemical oxidation of tannery dyes using a Ti/IrO_2-SnO_2-Sb_2O_5 anode. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 181*, 109173. https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109173

Bravo-Yumi, N., Pacheco-Álvarez, M. O., Olvera-Vargas, H., Brillas, E., & Peralta-Hernández, J. M. (2024). Electrochemical treatment at pilot scale of a mixture with high concentrations of dyes from the tannery/textile industry. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 118616. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2024.118616

Brillas, E., (2020). A review on the photoelectro-Fenton process as efficient electrochemical advanced oxidation for wastewater remediation. Treatment with UV light, sunlight, and coupling with conventional and other photo-assisted advanced technologies. *Chemosphere,* 250, 126198.

Brillas, E. (2023). Solar photoelectro-Fenton: A very effective and cost-efficient electrochemical advanced oxidation process for the removal of organic pollutants from synthetic and real wastewaters. *Chemosphere, 327*, 138532. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138532

Brillas, E., & Peralta-Hernández, J. M. (2024). The recent development of innovative photoelectro-Fenton processes for the effective and cost-effective remediation of organic pollutants in waters. *Chemosphere*, 366, 143465. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143465

Clematis, D., & Panizza, M. (2021). Electro-Fenton, solar photoelectro-Fenton and UVA photoelectro-Fenton: Degradation of Erythrosine B dye solution. *Chemosphere*, 270, 129480. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129480

Ewuzie, U., Saliu, O. D., Dulta, K., Ogunniyi, S., Bajeh, A. O., Iwuozor, K. O., & Ighalo, J. O. (2022*). A review on treatment technologies for printing and dyeing wastewater (PDW)*. *Journal of Water Process Engineering*, 50, 103273. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103273

Magdaleno, A. L., Brillas, E., Garcia-Segura, S., & dos Santos, A. J. (2024). Comparison of electrochemical advanced oxidation processes for the treatment of complex synthetic dye mixtures. *Separation and Purification Technology*, 345, 127295. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127295

Medrano-Rodríguez, F., Picos-Benítez, A., Brillas, E., Bandala, E. R., Pérez, T., & Peralta-Hernández, J. M. (2020). Electrochemical advanced oxidation discoloration and removal of three brown diazo dyes used in the tannery industry. *Journal of Electroanalytical Chemistry, 873*, 114360. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114360

Pacheco-Álvarez, M. O. A., Bravo-Yumi, N., Oller, I., & Peralta-Hernández, J. M. (2025). Solar-photoelectro-Fenton process as a cost-efficient alternative for removal of industrial dyes in sulfate and chloride media: Pilot scale evaluation. *Applied Catalysis O: Open, 202*, 207037. https://doi.org/10.1016/j.apcato.2025.207037

Rodríguez-Narváez, O. M., Picos, A. R., Bravo-Yumi, N., Pacheco-Álvarez, M., Martínez-Huitle, 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

Trasatti, S. (2000). *Electrocatalysis: Understanding the success of DSA®*. *Electrochimica Acta*, 45(15–16), 2377–2385. https://doi.org/10.1016/S0013-4686(00)00338-8