

“Tratamiento mediante electrocoagulación y electro-oxidación del colorante de la industria de curtiduría Olivo SG”

Kenia Isamary Mendoza Mendoza; Regina María Martínez Silva; Jesús Édgar González Suárez, Sonia Herrera Chávez, Kathia Vázquez Delgado, Martín Pacheco Álvarez, Juan Manuel Peralta Hernández¹

¹Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas.
juan.peralta@ugto.mx¹

Resumen

El presente trabajo investiga la eliminación de colorante de base en anilina, empleado en la industria de la curtiduría, Olivo SG, mediante los procesos electroquímicos de tratamiento por electrocoagulación y electro-oxidación, en los cuales se tiene que suministrar corriente eléctrica a electrodos que se sumergen en la solución. Se considera la influencia de parámetros operativos como concentración de los reactivos, pH inicial, densidad de corriente y tiempo de tratamiento, utilizando un electrodo sacrificio de aluminio en el caso de la electrocoagulación y un electrodo de diamante dopado con boro (BDD) en la electro-oxidación. Se reporta el comportamiento de dichas soluciones acuosas con respecto a la remoción de color y la efectividad al realizar ciertos cambios en algunas variables estudiadas para ambos procesos.

Palabras clave: Electro-oxidación, Electrocoagulación, contaminación, colorantes, curtiduría, tratamiento de agua.

Desarrollo

1. INTRODUCCION:

La contaminación del agua es un problema severo que ha incrementado en los últimos años [1], siendo una de las principales especies contaminantes las partículas coloidales, caracterizadas por poseer un tamaño comprendido entre los 1 y 1000 nm y una composición muy variada. Están presentes en numerosos efluentes, tales como los procedentes en las industrias de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel, talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, industria alimentaria, lavanderías e industria textil, etc. Siendo de esta última la que contiene un tipo muy tóxico de estas partículas, los colorantes. [10] Se estima que más de la mitad del agua contaminada por colorantes de la industria textil es directamente vertida en el ambiente sin ningún tipo de tratamiento, principalmente en países en vías de desarrollo [2]. Se consideran estos colorantes industriales como de gran toxicidad para tanto animales como humanos. Es por ello que se busca la remoción de estos en el agua que se devuelve al ambiente [3].

Dado su pequeño tamaño, estos contaminantes no pueden ser eliminados directamente por técnicas de separación sólido-líquido (decantación, flotación), y requieren de una etapa previa en la que, o bien mediante la adición de reactivos, se formen sólidos de mayor tamaño (proceso de coagulación-floculación), o bien induciendo la oxidación de las moléculas (mediante una aplicación de corriente) formando subproductos menos tóxicos [4][5].

El proceso de coagulación en el tratamiento del agua consiste esencialmente en cuatro pasos separados y secuenciales: transformación del coagulante, absorción de especies adsorbidas, desestabilización de partículas y colisiones entre partículas. Se puede desestabilizar una disolución coloidal mediante la aplicación de una corriente eléctrica y electrodos metálicos que llenen de iones el medio. A este proceso se le llama electrocoagulación, y se puede definir como un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual (o se rompe una emulsión), posibilitando su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido (decantación, flotación). Normalmente, el material anódico empleado consiste en planchas de sacrificio de aluminio o de hierro. Al aplicar una diferencia de potencial a la celda, se consigue la generación

de iones (OH) en disolución. Como consecuencia, y al igual que en procesos convencionales de coagulación, se obtienen:

1. Hidróxidos insolubles sobre los que quedan retenidos los contaminantes.
2. Hidróxidos complejos catiónicos o aniónicos, que desestabilizan las fuerzas de repulsión electrostáticas existentes en la materia coloidal, bien por neutralización de cargas o bien por formación de enlaces intra-particular.

Por otra parte, la electro-oxidación es uno de los métodos electroquímicos de oxidación avanzada utilizado para el tratamiento de contaminantes orgánicos, en donde por medio de la oxidación aniónica, se generan radicales hidroxilos, los cuales son altamente oxidantes y a su vez estos reaccionan con los compuestos orgánicos, los cuales son reducidos y oxidados en compuestos menos complejos como CO₂, H₂O e iones inorgánicos. Sin embargo, la efectividad de este procedimiento depende de la naturaleza del material del ánodo porque determina el tipo de oxidantes electros generados y su poder de oxidación.

Actualmente se han realizado investigaciones sobre oxidación electroquímica con electrodos de diamante dopados con boro (BDD), debido a las propiedades que presentan: 1) superficie inerte con baja adsorción en la superficie, 2) notable estabilidad a la corrosión, 3) amplia ventana de potencial, 4) oxidación no selectiva de compuestos orgánicos hasta CO₂ y H₂O. Los BDD han demostrado en la actualidad efectividad para la oxidación de colorantes sintéticos y de otros compuestos.

En la presente investigación se estudiaron los procesos de electrocoagulación y electro-oxidación llevados a cabo en reactores a escala pre-piloto.

2. MARCO TEORICO

ELECTROCOAGULACIÓN

El reactor utilizado para realizar la electrocoagulación es por medio de una operación por batch, ya que opera con un volumen determinado de agua residual para tratar en un ciclo en su forma más simple, y permiten controlar mejor las condiciones que intervienen en el proceso. Se compone de un depósito, en el que se sumergen los dos electrodos, y de una fuente de alimentación a la que se conectan los electrodos. Al establecerse una diferencia de potencial entre los electrodos de la celda, comienzan los procesos de reducción en el cátodo (generalmente, conversión de los protones del agua en hidrógeno), y los de oxidación en el ánodo (generándose el ion Al³⁺ si el ánodo es de aluminio).

PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

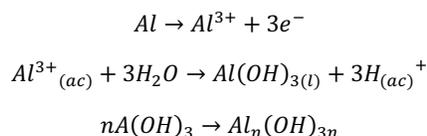
Durante la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que se pueden describir de la siguiente manera:

- Se forman tanto hidróxidos insolubles del metal, sobre los que quedan retenidos los contaminantes, como hidróxidos complejos cargados, positiva o negativamente, que permiten la coagulación por neutralización de cargas.
- En las proximidades del ánodo, la generación de oxígeno por oxidación del agua da lugar a la formación de iones H⁺, que dada su carga son atraídos hacia el cátodo. En el cátodo, la reducción del agua para formar hidrógeno da lugar a la formación de iones hidroxilo (OH⁻) que, al contrario que los anteriores, son atraídos hacia el ánodo. Como consecuencia, se genera un perfil de pH entre cada ánodo y cátodo, que favorece que aparezcan diferentes especies químicas en el reactor a partir de las electro-generadas en el ánodo, y que por tanto ocurran diferentes procesos simultáneamente en el interior de una celda electroquímica. Este perfil de pH es responsable de las menores cantidades de Al necesarias para conseguir un mismo rendimiento en el proceso, cuando se genera este componente electroquímicamente.

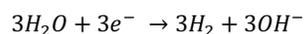
En el interior de una celda electroquímica la carga de los coloides facilita su movimiento por el campo eléctrico generado por los electrodos, y la evolución electródica de gases (oxígeno en el ánodo e hidrógeno en el cátodo) genera una mezcla suave. Como consecuencia, se favorece el choque entre coloides y por tanto la

floculación en el interior de la celda electroquímica sin necesidad de agitación mecánica. Al no haber elementos móviles se reducen notablemente los gastos de mantenimiento del proceso.

Al utilizar electrodos de aluminio en el proceso de electrocoagulación; estos liberan iones Al^{3+} o que actúan como coagulantes muy eficientes para la floculación y aglomeración de partículas coloidales. Cuando el aluminio actúa como ánodo, las reacciones son las siguientes:



En el cátodo:



El volumen de la celda ocupada por los electrodos es la zona de reacción, donde se realizan los procesos de desestabilización de partículas, coagulación y sedimentación. Después de estas reacciones se generan lodos que pueden depositarse en la parte superior cuando su densidad es baja o precipitarse cuando su densidad es alta.

FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Densidad de corriente: El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{3+} o hierro Fe^{2+} liberados por los respectivos electrodos. Cuando se usa una corriente demasiado grande, hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia.

Presencia de NaCl: La sal aumenta la conductividad del agua residual. Una de las sales más empleadas para este fin es el cloruro sódico, ya que se ha determinado que los iones cloruro pueden contrarrestar los efectos negativos de aniones como el HCO_3^{-} y el SO_4^{2-} .

pH: El efecto del pH en la electrocoagulación se refleja en la eficiencia de la corriente y se relaciona con la disolución del hidróxido del metal, se ha encontrado que el rendimiento del proceso depende de la naturaleza del contaminante. No obstante, a pH neutral el consumo de energía es alto, debido a que hay variación de la conductividad. Cuando la conductividad es alta, el efecto del pH no es significativo.

Temperatura: Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60° C punto donde se hace máxima, para luego decrecer.

Flujo: Es de suma importancia mantener un flujo constante, ya que, al formarse los coágulos, estos producirán un efecto conocido como pasivación, con el que la reacción disminuirá se cinética y eficiencia, llegando incluso a bloquear el paso de corriente, es por ello que se usó un sistema por ciclos y con un flujo continuo.

ELECTRO-OXIDACIÓN

Para el proceso de oxidación directa con electrodos de diamante dopado con boro (BDD), se utilizó un reactor electroquímico filtro prensa, operando en modo batch. El reactor está constituido por un par de marcos, uno de ellos soporta el ánodo y el otro el cátodo en forma de placas, de manera que al acoplarlos formen una cama como se muestra en la ilustración 1. El agua con el contaminante entra por la parte lateral a la cámara y se introduce con un flujo turbulento, para incrementar la transferencia de masa y eficiencia del proceso. Este sistema hace que su operación y mantenimiento sean relativamente simples, además de que el escalado resulta sencillo siempre y cuando el reactor se encuentre funcionando en condiciones de flujo hidrodinámico totalmente desarrolladas.

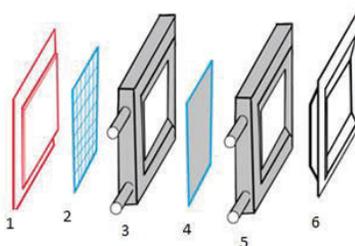
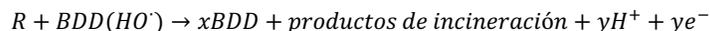


Ilustración 1. Esquema de una celda del reactor tipo filtro prensa. 1) Ánodo, 2) Placa de turbulencia, 3) Marco para ánodo, 4) Membrana, 5) Marco para cátodo, 6) Cátodo

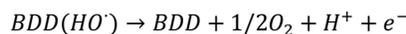
PROCESO DE ELECTRO-OXIDACIÓN

Recientemente los electrodos de BDD han adquirido gran importancia en el mercado debido a que se han desarrollado una gran cantidad de aplicaciones tecnológicas y electroquímicas en varios trabajos de investigación. Cuenta con características como: resistencia química y mecánica (50 – 100 Gpa), gran conductividad de electrones ($1350 - 1500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) y estabilidad morfológica a elevados potenciales (hasta 2000 A m^{-2}), demuestran la gran capacidad de este tipo de electrodos.

Estas propiedades hacen que se mejore notablemente la degradación del contaminante mediante el BDD (HO^\bullet) producido a través de las ecuaciones. En donde la reacción de oxidación de los compuestos orgánicos entra en competencia con la reacción de evolución del O_2 , como muestra la reacción, haciendo al ánodo de BDD lo suficientemente potente como para mineralizar los contaminantes aromáticos y sus ácidos carboxílicos generados.



Siendo: "x" y "y" coeficientes estequiométricos



FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE ELECTRO-OXIDACIÓN

Material del ánodo: El material debe tener una sobretensión elevada que favorezca la electro-generación de radicales hidroxilos (HO^\bullet), que actúan como intermediarios de la oxidación directa del H_2O a H_2O_2 , O_2 y O_3

Conductividad eléctrica: Con ella podemos determinar la corriente necesaria para alcanzar una tensión mínima, garantizando que las reacciones se lleven a cabo.

pH: La degradación de colorante se da mejor en un medio básico debido a la presencia de los radicales HO^\bullet .

Densidad de corriente: Un aumento de la densidad de corriente nos puede garantizar una buena eficiencia del proceso hasta cierto punto, ya que tiende a estabilizarse con el tiempo.

3. MATERIALES Y METODO

REACTIVOS

Para llevar a cabo el trabajo en ambos reactores se usaron los mismos reactivos. Como contaminante se usó un colorante base de anilina, Olivo SG, ($\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{N}_8$), con un peso molecular de 346.4 g/mol (PubChem CID: 13981). [6][7]

Como solución para ajustar el pH, se utilizó una disolución H_2SO_4 en una proporción de $1/3$ mililitros, y como electrolito se empleó Na_2SO_4 50 mM (PM: 142.04 g/mol); todas las soluciones se realizaron en agua destilada.

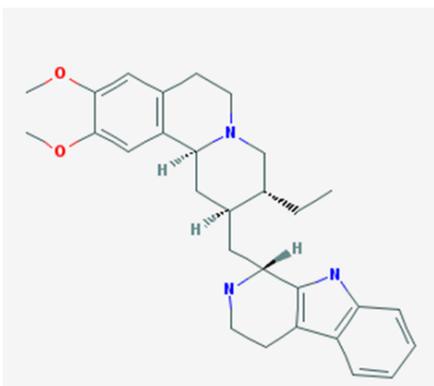


Ilustración 2. Colorante Olivo SG.

MATERIALES PARA ELECTROCUAGULACIÓN

Para el desarrollo de los experimentos de electrocoagulación, se empleó un reactor batch en material polimérico, siendo 12 cm × 5.7cm × 5.7cm de largo, ancho y alto respectivamente. Las placas usadas como electrodos fueron de aluminio (fueron tres para ánodo y dos como cátodo), colocándose de manera alternada. Dichos electrodos se trabajaron con un grosor de 3 mm aproximadamente, en cuanto al área del ánodo con el efluente, las dimensiones eran variantes, ya que las placas de los cátodos presentaban desgaste en el material a causa de análisis anteriores.

Celda	Base cm	Altura cm	Área cm ²
1	4.20	1.2	17.840
	4.00	3.2	
2	4.20	4.4	18.480
3	4.15	0.7	18.075
	4.10	3.7	

ÁREA TOTAL: 54.395 cm²

Tabla 1. Área de ánodos.

El reactor empleado es totalmente desarmable en cuanto a la colocación de las placas de los electrodos, ya que de esta manera era posible observar el flujo del agua, así como facilitar la limpieza y remoción adecuada de los lodos formados en cada una de las corridas experimentales.

Las placas se encuentran distribuidas de manera alterna, ánodo-catodo-ánodo-catodo, de tal manera que el fluido pase en zigzag por las placas y la consecuente turbulencia en el fluido.

Mediante una fuente de poder de marca BX PRECISION^R se realizó el suministro de corriente eléctrica a cada uno de los electrodos, la cual era monitoreada y regulada por un medidor digital. Su capacidad abarcaba de los 0 a los 30 Volts, así como 12 amperios siendo su valor máximo. Se empleó un cronometro para cada corrida, donde el tiempo variaba de 40 a 60 minutos en cada experimento.

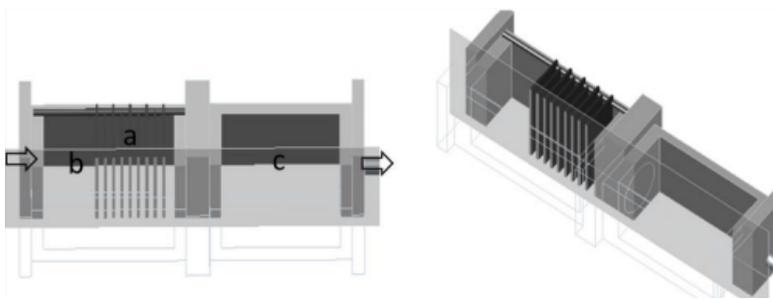


Ilustración 3. Reactor de electrocoagulación. a) Electroodos de Al b) Parte reactiva, c) Retención de lodos.

El flujo de agua era suministrado mediante una bomba y mangueras de silicón. Una vez que el flujo pasa por la parte reactiva, los lodos se van reteniendo en la parte siguiente del reactor; las burbujas producidas durante la reacción en los electrodos evitan que los lodos producidos circulen por todo el sistema interfiriendo en la degradación del contaminante.

Adicionalmente se instaló un cono de sedimentación imhoff para la recolección del efluente y realizar los análisis respectivos.

Todas las mediciones de volumen para la mezcla inicial se llevaron a cabo en matraces aforados y se pesaron los reactivos sólidos en una balanza analítica. Se usó un agitador magnético en la etapa de preparación y se utilizó un medidor de pH digital para conocer la alcalinidad o acidez de esta.

A continuación, se muestra el equipo empleado y los materiales de apoyo para llevar a cabo cada una de las pruebas.

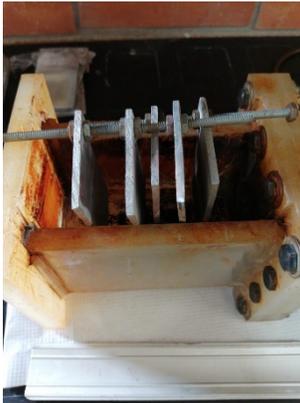


Ilustración 1. Celdas de electrocoagulación.

MATERIALES PARA ELECTRO-OXIDACIÓN

Todos los ensayos de EO se llevaron a cabo en un reactor electroquímico de tipo filtro prensa, conectado a un contenedor de plástico con un área de 32 cm^2 y una capacidad para contener 4 L de líquido utilizando un caudal de 12 L/min. En el reactor se utilizaron dos películas delgadas de BDD con área geométrica de 64 cm^2 y se fijaron a una distancia de separación entre electrodos de 0.5 cm.

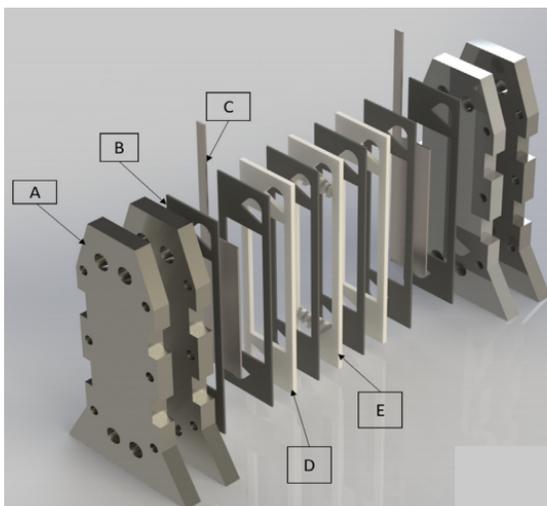


Ilustración 5. Reactor electroquímico tipo filtro prensa. a) Placa final, b) Junta c) Ánodo de BDD, d) compartimiento de líquido y e) Entrada de líquido en la celda

Los ensayos electroquímicos se realizaron galvanostáticamente a una densidad de corriente aplicada fija, utilizando una fuente de alimentación de la marca "BX Precision" donde se pudieron controlar las variables de voltaje y la intensidad de corriente eléctrica que se le suministraba al reactor. Por otra parte, como electrolito se utilizó Na_2SO_4 a 50 mM y se evaluó este proceso realizando múltiples pruebas cada 5 min con tres densidades de corriente diferentes (20, 40 y 60 mA/cm^2).

El líquido que circulaba del contenedor fue impulsado al reactor por medio de una bomba peristáltica de la marca "Shurflo" de 110 V y 45 psi" a través de tuberías de PVC que recirculaban para un mejor mezclado y regresaban de vuelta al contenedor de plástico. Por último, el flujo se midió por medio de un caudalímetro con capacidad máxima de 200 Lph.

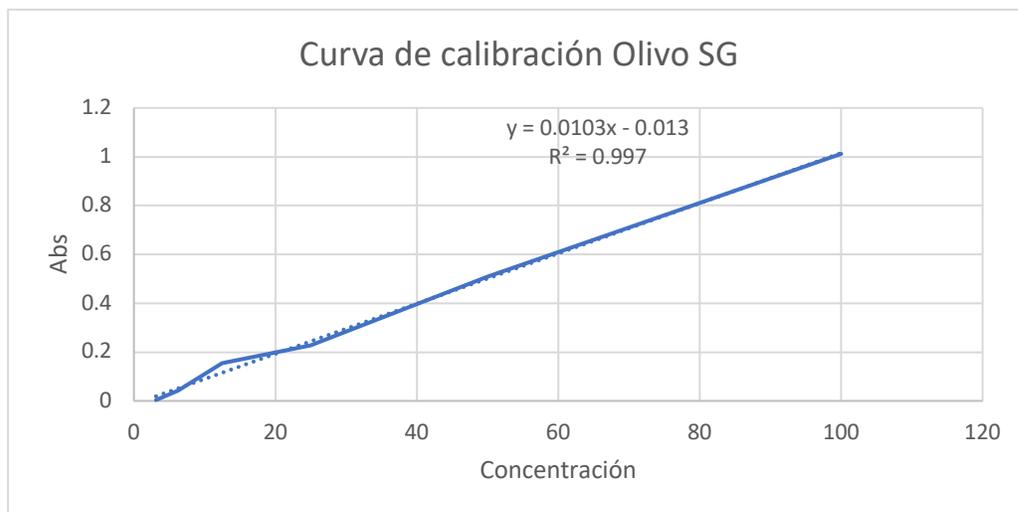
A continuación, se muestra el equipo completo y de una manera más detallada.



Ilustración 6. Reactor electroquímico tipo filtro prensa.

PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo 3 etapas. La primera etapa corresponde a la realización de las curvas de calibración para el posterior análisis de los datos obtenidos. De estas curvas pudimos obtener valores para la ecuación de la recta, y con ello poder realizar el análisis respectivo de las concentraciones a partir de la absorbancia obtenida de cada una de las muestras tomadas. Para esto se partió de disoluciones de 100 ppm, y se fue disminuyendo a la mitad un total de 5 veces. También se tiene que tomar en consideración que, primero se tuvo que encontrar el valor máximo de la onda de color del colorante, realizándose un barrido desde los 200 nm hasta las 1100 nm. Se encontró pues que para el Olivo SG, 409.968nm.



Gráfica 1. Curva de calibración Olivo S

La segunda parte del experimento consistió en determinar las variables de trabajo y a partir de estas, determinar un análisis que permita obtener un correcto estudio en cuanto al método de la electrocoagulación. La tabla muestra los distintos tratamientos del experimento.

Concentración ppm	Colorante	Densidad de corriente (mA/cm^2)			Na_2SO_4
		20	40	60	
50					0.05 molar
	Olivo SG	1.0879	2.1758	3.2637	
80					

Tabla 2. Tabla de tratamientos.

Se realizaron las mismas pruebas experimentales y la cuantificación de la degradación de color en el reactor de electrocoagulación. Por lo que la metodología empleada para cada uno de ellos es la misma y será sobreentendido su manipulación que a continuación se presenta.

1. Se prepararon soluciones a una concentración de 50 ppm en un volumen de 1.5L con agua destilada. Por lo que se pesaron 0.075 g de colorante y 10.563 g de Na_2SO_4 en una balanza analítica.
2. Se aforo 1L de agua destilada en un matraz volumétrico y 0.5 L en un matraz adicional, posteriormente se realiza la adición de ambos volúmenes a un vaso de precipitado de capacidad mayor a la requerida, se añadió el colorante a una primera concentración y la cantidad de Na_2SO_4 determinada.

3. Se colocó dentro de la solución un agitador magnético y se realizó el mezclado por 10 min para obtener una solución homogénea. Debido a investigaciones anteriores se estableció regular el pH de la solución a un valor de 3, añadiendo en este caso H_2SO_4 para realizar el ajuste deseado y nuevamente se inicia el mezclado.
4. Se tomaron 3mL de una solución de agua destilada y 3 mL de la solución inicial del colorante a tratar para medir su absorbancia (blanco). Siendo su valor de onda máximo para dicho colorante de 418.29nm.
5. Se cargó el reactor con la mezcla y se inició el cronometro a partir de que, el volumen de la mezcla inundara el área calculada anteriormente de los electrodos; a la par se comenzó el suministro de la corriente eléctrica a una densidad en específico.
6. Se tomaron muestras cada 10 min y se evaluaba la absorbancia de cada una de ellas. El tiempo de muestreo fue de 60 min o hasta que la absorbancia de la solución arrojara valores negativos.
7. Después de realizar todas las variaciones en el experimento a una concentración de 50 ppm, se realiza nuevamente el paso 1, pero ahora a una concentración de 80 ppm, (0.12g de colorante).

Por otra parte, para las pruebas experimentales en el reactor electroquímico tipo filtro prensa se realizó la siguiente metodología.

1. Se prepararon soluciones a una concentración de 50 ppm para un volumen de 4 L con agua destilada. Por lo que se pesó 0.3 gr de colorante y 28.4 gr de Na_2SO_4 en la balanza analítica.
2. Se aforo 100 ml de agua destilada en un matraz volumétrico y se le añadió el colorante para poder ser mezclado. Posteriormente se vertieron los 3900 mL restantes de agua destilada al contenedor del reactor.
3. Una vez encendida la bomba y que el líquido se encuentre muy bien mezclado en el reactor, se busca regular el pH a un valor de 3 añadiendo una solución de H_2SO_4 hasta que el valor quede en 3 o cercano a él.
4. Posteriormente se agrega el electrolito de Na_2SO_4 a la solución y se ajustó la densidad de corriente a la cual se iba a trabajar. Una vez pasando los primeros 5 min, se empezó a tomar tiempo hasta pasar dos horas.
5. Se tomaron muestras cada 5 min y se evaluó la absorbancia de cada una de ellas, tomando en cuenta la longitud de onda del colorante.
6. Después de realizar todas las densidades de corriente con la concentración de 50 ppm, se repitieron los mismos pasos, pero ahora con la concentración de 80 ppm (0.44 gr de colorante).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

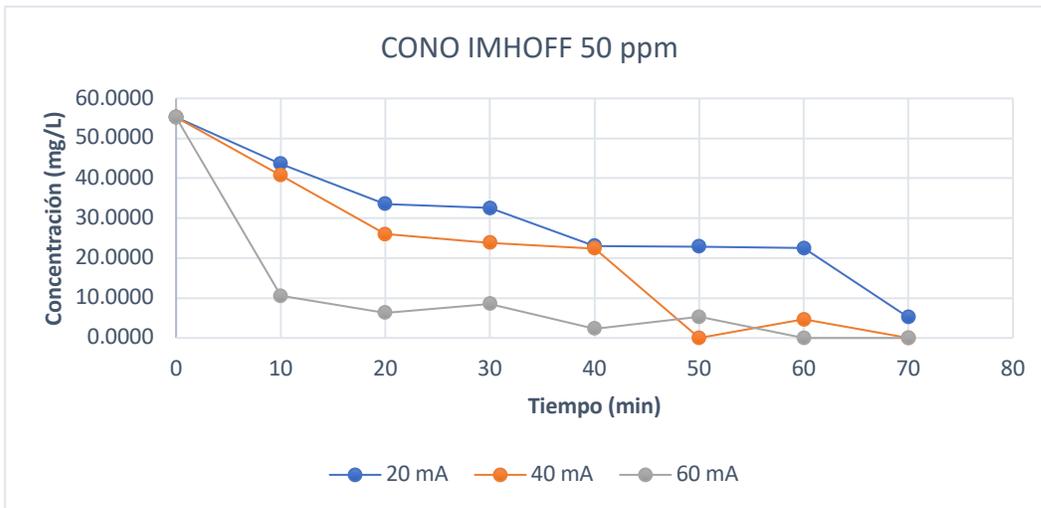
4.1. Electrocoagulación.

Las mediciones obtenidas de las soluciones de los colorantes en el reactor de electrocoagulación fueron recabadas de dos zonas distintas, tanto del efluente del reactor en la zona de salida, así como en la parte superior del cono de sedimentación de Imhoff.

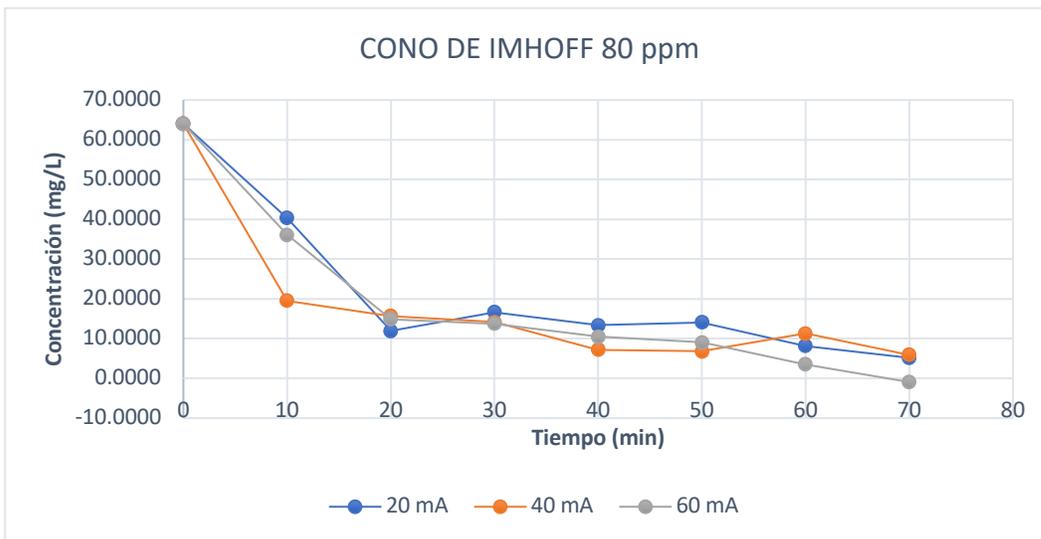
En las *gráficas 2 y 3*, se puede apreciar que se llegan a obtener concentraciones nulas de colorante en el agua en un mismo lapso. Como se puede observar existe una gran variación de la concentración al inicio del experimento, la cual a partir de los primeros 20 minutos comienza a estabilizar este cambio, a un valor casi constante.

Es importante mencionar que lo que se espera del experimento es la disminución de la concentración conforme el tiempo avanza, lo cual es coherente con los resultados obtenidos.

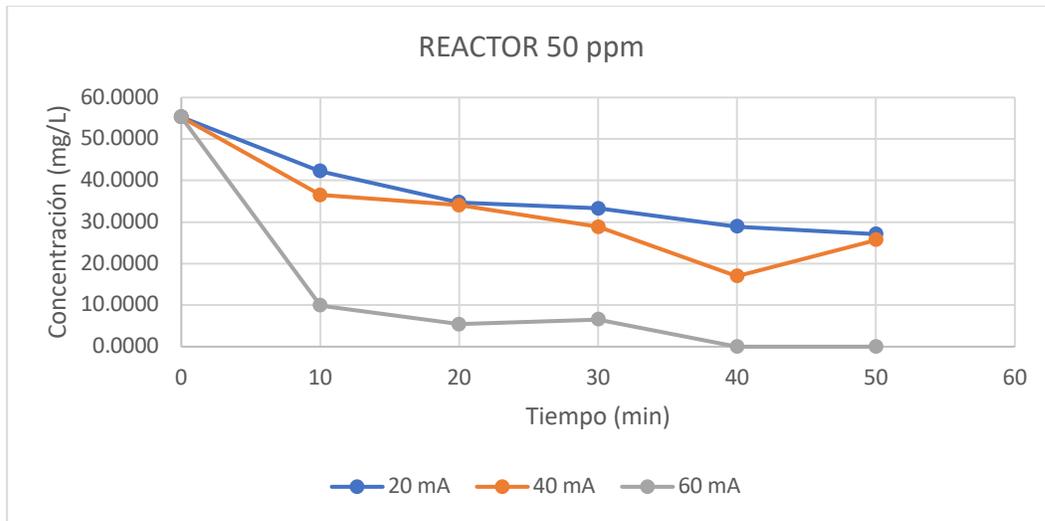
Tanto en la zona del reactor como del cono de Imhoff, se puede apreciar que al suministrar una corriente eléctrica mayor ($60 mA/cm^2$), en un tiempo menor se acerca más a la concentración nula de color en comparación de las otras dos corrientes eléctricas, las cuales requieren tiempos mayores para lograr dicha nulidad.



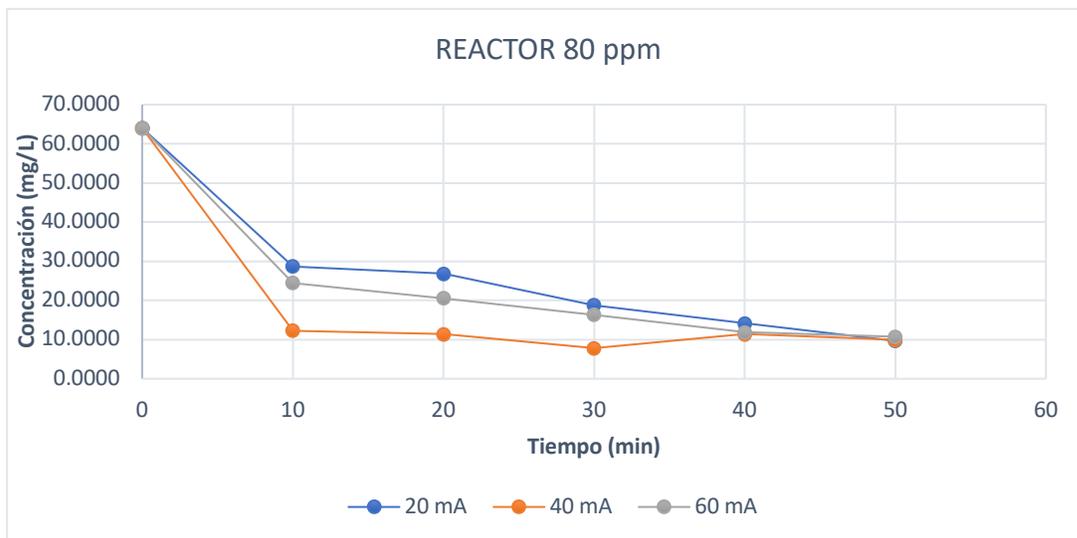
Gráfica 2. Olivo SG, 50 ppm



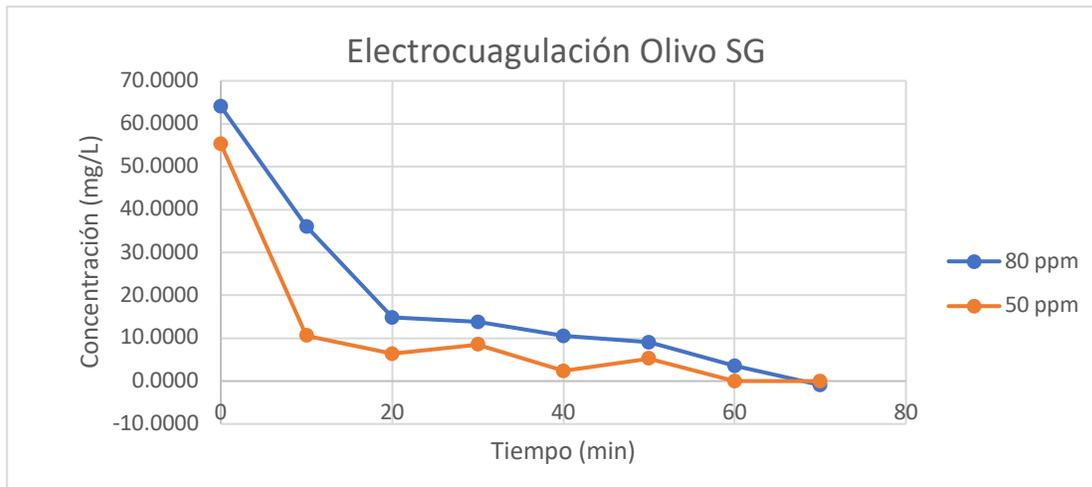
Gráfica 3. Olivo SG, 80 ppm.



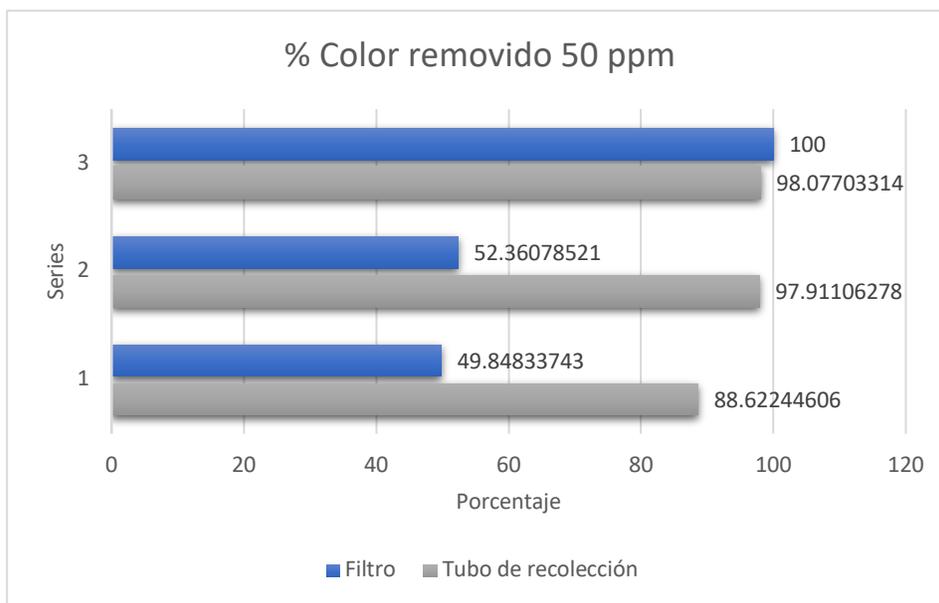
Gráfica 4. Reactor olivo SG, 50 ppm.



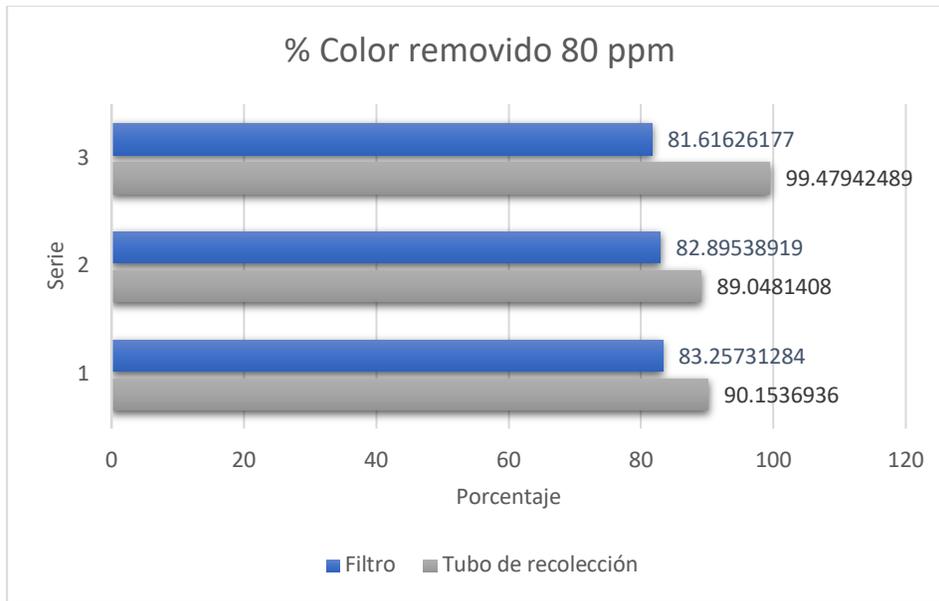
Gráfica 5. Reactor olivo SG, 80 ppm.



Gráfica 6. Electrocuagulación vs Ozono



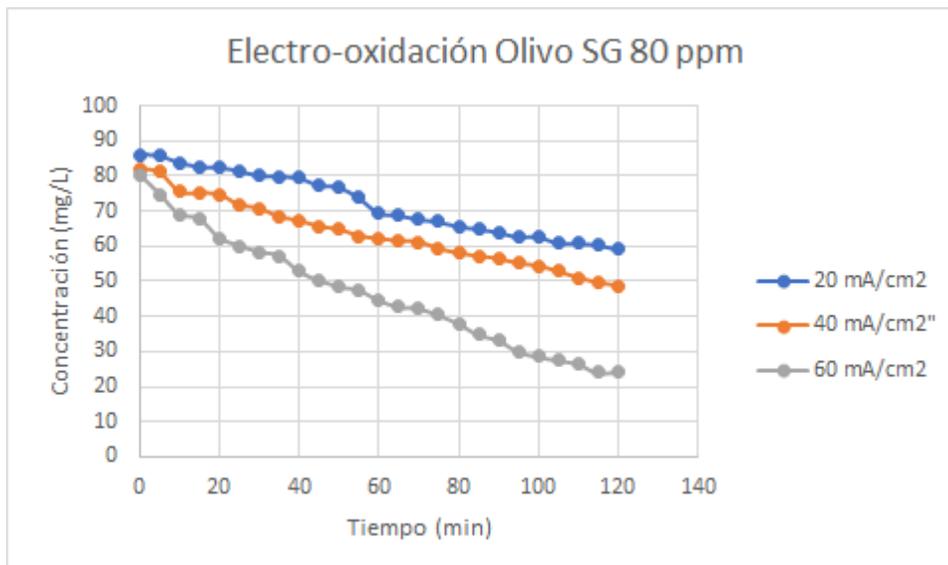
Gráfica 7. % Color removido 50 ppm Olivo SG



Gráfica 8. % Color removido 80 ppm Olivo SG

4.2. Electro-oxidación.

Los resultados que aparecen en la gráfica 9 de la concentración de "Olivo SG" para las densidades de corriente de 20, 40 y 60 mA/cm² después de 120 min muestran que a medida que se aumenta la densidad y el tiempo avanza, aumenta la degradación de la materia orgánica del agua procesada. Este aumento de la degradación de "olivo SG" se les adjudica a los radicales libres HO[•] generados por el electrodo de BDD. Es importante resaltar que, aunque los radicales libres HO[•] aumentan con el tiempo, la producción de estos tiende a ser constante, lo cual, si aumentamos la concentración del colorante, aumenta también la demanda de los radicales libres y al no haber suficientes, la degradación del colorante se vuelve más lenta.



Gráfica 9. % Color removido 80 ppm Olivo SG

Densidad (mA/cm ²)	k	r ²

20	0.0034	0.978
40	0.0041	0.9912
60	0.0098	0.992

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir apoyando proyectos que generan conciencia en la comunidad estudiantil, sobre todo en los ámbitos que aporten a la conservación del medio ambiente. Se tiene que agregar que recomendamos el uso de procesos de electro-oxidación avanzada para la complementación de los procesos trabajados, ya que, si bien es cierto que tienen una gran eficiencia y son prometedores para su aplicación industrial, estos no son perfectos y en algunos casos como en la electrocoagulación, también se tiene que pensar en el desecho y el tratamiento de los lodos generados. Procesos como la ozonificación, electro-Fenton o fotoelectro-Fenton, pueden ser complementos para las plantas tratadoras de agua.

6. CONCLUSIONES

Es innegable que la humanidad atraviesa por un gran desarrollo en la industria, y que, desde la revolución industrial hasta nuestros días, hemos alterado y contaminado al medio ambiente. Los procesos de tratamiento utilizados presentan altas eficiencias en la remoción de contaminantes, su aplicación a nivel laboratorio y pre piloto, lo demuestran.

Referencias

- A. Márquez, Ana. Coreño, Oscar. Nava, José L. Removal of brilliant green tannery dye by electrocoagulation, *Journal of Electroanalytical Chemistry* (2022)
- Katheresan V, Kansedo J, Lau SY (2018) Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *J Environ Chem Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
- G.K. Mariah, K.S. Pak, Removal of brilliant green dye from aqueous solution by electrocoagulation using response surface methodology, *Mater. Today Proc.* 20 (2020) 488–492, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.175>
- Nippatlapalli, Narasamma. Philip, Ligy. Advanced Removal Techniques for Dye-containing Wastewaters, *Advanced Oxidation Processes for Dye Removal.* Springer Nature Singapore (2021).
- A. Mollah. M. Yousuf, Schennach. Robert, Parga Jorge R. Electrocoagulation (EC)-science and applications. *Journal of Hazardous Materials* (2001) 29-41.
- PubChem. C11817. (Revisado el 29/06/2022) <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/substance/13981>
- Olive Brown SG POP Leather Dye, Poplon India (Revisado el 29/06/2022) <https://www.indiamart.com/poplonindia-amritsar/leather-dyes.html>
- V. Deborah, P. Alain, P. Martin, P. Tzayam, B. Erick R., P. Juan M. Tannery wastewater treatment using combined electrocoagulation and electro-Fenton processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10. (2022) 107290
- C. Sule, C. Lutfiye, P. Kamran, H. Hale, Experimental design of wastewater treatment with electro-coagulation. *Emerald in Sight. MEQ.* 25,1. Pp86
- Shafahi, Maryam. Water Pollution Caused by Leather Industry: A review. *Conference Paper.* (2019). Research Gate Publications. DOI: 10.1115/ES2019-3949