

# Diseño y validación para el tratamiento de un efluente contaminado con pesticida y colorante

ANDREA STEPHANNY COLMENERO ARMENDÁRIZ, JOSÉ DANIEL RAMÍREZ  
GUTIÉRREZADRIANA BENITEZ RICO, TOMÁS EDUARDO CHÁVEZ MIYAUCHI

**Resumen—** En este trabajo se muestra el diseño y el prototipo para el tratamiento de agua contaminada con 2,2-diclorovinil dimetil fosfato (DDVP), un plaguicida altamente tóxico, y el colorante azul de metileno. El tratamiento consta de tres etapas que funcionan de forma similar a un reactor de tanque de agitación continua CSTR, la evaluación cuantitativa de los resultados da una remoción de los contaminantes mayor al 90%.

## I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son el producto de las actividades que se llevan a cabo con agua. Contienen contaminantes orgánicos, como hidrocarburos aromáticos, policíclicos, dioxinas disolventes clorados, compuestos aromáticos derivados de la producción de colorantes, explosivos, productos farmacéuticos, plaguicidas, surfactantes, detergentes sintéticos y fertilizantes ricos en fosfato; también contienen contaminantes inorgánicos como lo son los metales pesados y microorganismos que pueden ser o no patógenos. [1]

Las aguas residuales en México constituyen un serio problema, tanto para la salud como para el medio ambiente. Los recursos hídricos en México, al igual que en el resto del mundo, se encuentran bajo una creciente explotación. El crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento del consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria han aumentado el uso global del agua conduciendo a la escasez y contaminación de este recurso. [2]. El principal problema del agua en México es la contaminación ligada a la falta de un adecuado tratamiento y a una incorrecta reutilización. [3]

Es común encontrar muchas de las fábricas a las afueras de las ciudades, cerca de zonas agrícolas y/o ganaderas, por lo que los efluentes de estas regiones van cargados de pesticidas y colorantes, derivados principalmente de la agricultura y de la industria textil, respectivamente, entre muchos otros contaminantes que ya se han mencionado. Es por eso que, en este proyecto se evaluaron diferentes tratamientos para limpiar una muestra de agua con 2,2- diclorovinil dimetil fosfato, DDVP, (plaguicida) y azul de metileno (colorante).

Se afirma que la mayoría de los plaguicidas no son peligrosos para la salud humana. Sin embargo, estos productos son altamente volátiles, por lo que pueden causar intoxicación por inhalación, lo cual provoca serios daños para la salud humana. Pero sin duda un caso al que hay que prestar especial atención es al del DDVP, conocido comúnmente como vagona y cuyo

nombre químico es 2,2- diclorovinil dimetil fosfato; ya que, la toxicidad de este plaguicida es muy elevada [4].

El DDVP es un insecticida organofosforado, altamente tóxico por inhalación, adsorción dérmica y por ingestión. Al ser un producto volátil, la inhalación es la ruta de exposición más frecuente. Cuando se inhala, sus primeros efectos generalmente son respiratorios y pueden incluir dificultad para respirar, tos y exceso de fluido en los bronquios, entre otros síntomas. El contacto con este insecticida puede ocasionar contracciones musculares involuntarias. Al contacto con los ojos provoca contracción de las pupilas y visión borrosa, principalmente. También pueden aparecer otros efectos sistémicos después de la exposición por cualquier vía, los cuales pueden incluir náuseas, vómitos, dolores abdominales, diarrea, visión borrosa, contracción o dilatación de las pupilas, salivación y confusión mental. Si ocurre una intoxicación severa, afectará el sistema nervioso central ocasionando falta de coordinación, disminución de los reflejos, fatiga, contracciones musculares involuntarias, temblores, y ocasionalmente parálisis en las extremidades y en los músculos respiratorios. En casos graves puede ocurrir defecación involuntaria, psicosis, pérdida del conocimiento, convulsiones y coma. También puede provocar la muerte por paro cardíaco o respiratorio. Cabe señalar que estos síntomas pueden aparecer hasta cuatro semanas después de la exposición al DDVP, por lo cual es difícil asociar los síntomas al pesticida. La exposición prolongada tiene síntomas como pérdida de memoria y concentración, desorientación, depresiones severas, irritabilidad, confusión, pesadillas, sonambulismo e insomnio. [4]

El DDVP o vagona, ha sido clasificada como carcinógeno por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) debido a la aparición de leucemia y tumores benignos en páncreas y glándulas mamarias en ratas de laboratorio. Además, se descubrió que afecta el sistema nervioso a través de la inhibición de la colinesterasa, una enzima requiere para su funcionamiento. Es por eso que el 28 de septiembre de 1995, la EPA prohibió dicho producto para su uso en domicilios, plantas de tabaco, jardines, campos hídricos, áreas comerciales, institucionales, industriales, aviones, camiones, barcos vagones ferroviarios y embalajes de productos no perecederos [4].

En cuanto al azul de metileno, éste un colorante ampliamente utilizado en la tinción de estructuras celulares pertenece a los compuestos aromáticos sintéticos. Debido a su complejidad estructural, las plantas de tratamiento convencionales remueven este colorante en un bajo porcentaje, razón por la cual es vertido sin ser tratado. Los colorantes sintéticos son compuestos químicos xenobióticos,

ANDREA STEPHANNY COLMENERO ARMENDÁRIZ Y JOSÉ DANIEL RAMÍREZ GUTIÉRREZ pertenecen a la carrera INGENIERÍA QUÍMICA de la FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS.

El proyecto fue asesorado por la DRA. ADRIANA BENÍTEZ RICO y el DR. TOMÁS EDUARDO CHÁVEZ MIYAUCHI.

los cuales no se encuentran en forma natural en la biósfera, sino que han sido sintetizados, por lo tanto, su degradación en el ambiente es lenta y se acumulan incrementado su concentración en los distintos nichos ecológicos [5].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

**Determinación de la concentración de contaminantes**

Para determinar la concentración de azul de metileno y de DDVP durante todo el tratamiento se utilizó un espectrofotómetro de ultravioleta Perkin Elmer. Para esto se preparó una dilución de azul de metileno con etanol y se determinó su longitud de onda, posteriormente se prepararon varias disoluciones para construir una curva de calibración. Se realizó el mismo procedimiento con el pesticida, es importante preparar las disoluciones con etanol, ya que el producto forma una emulsión con el agua.

Se tomó una muestra del efluente que se diluyó y se determinó la absorbancia que tenía a la longitud de onda del azul de metileno ( $\lambda=664$  nm) y del pesticida (214.16 nm) para determinar la concentración inicial de contaminantes.

**Métodos de remoción de contaminantes**

Se llevó a cabo un método de oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y luz UV para remover ambos contaminantes. Se realizaron otros dos procedimientos de coagulación-floculación, uno con sulfato de aluminio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) y otro con hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) para eliminar el pesticida y se realizaron pruebas de adsorción de azul de metileno con carbón activado a distintos tiempos.

El tiempo de reacción para los procedimientos con óxido de titanio, sulfato de aluminio y cal fue de una hora utilizando 2g de reactivo para muestras de 20mL para cada experimento. En cuanto a la adsorción de azul de metileno con carbón activado, se determinó que el tiempo requerido para eliminarlo fue de 20 minutos utilizando 2g de carbón para 30 mL de muestra. Todos los procedimientos se efectuaron con agitación constante.

Una vez cumplido el tiempo de retención, las muestras se filtraron al vacío, a excepción de la del experimento realizado con carbón activado, la cual se filtró por gravedad. Una vez filtradas las muestras, se diluyeron al 1% y se analizaron en el espectrofotómetro de luz ultravioleta.

**Construcción del prototipo del tren de tratamiento**

El prototipo del tren de tratamiento se construyó conectando tres “T” de equipos de destilación con un filtro de algodón con gasa a la salida de cada para diferenciar tres etapas sin interrumpir el proceso. En las primeras dos etapas se colocó cal y en la tercera carbón activado.

Se tomaron muestras a la salida de cada etapa, se filtraron, y se analizaron en el espectrofotómetro de UV.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de llevar a cabo un proceso continuo para tratar el efluente se realizaron pruebas para eliminar el color y el pesticida. Inicialmente, se había pensado en eliminar ambos contaminantes por oxidación fotocatalítica utilizando óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) bajo luz ultravioleta, ya que otros estudios han demostrado la eliminación de azul de metileno del agua mediante este método; sin embargo, en este estudio no se

observó una disminución en la concentración del colorante, pero sí en la concentración del pesticida, la cual pasó de 13070.94 ppm a 880 ppm, como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Remoción de pesticida con los diferentes métodos empleados.

Reactivo	Concentración final [ppm]	Cantidad removida [ppm]	% de remoción
TiO <sub>2</sub>	880	12190	93.27
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	460	12610	96.48
Ca(OH) <sub>2</sub>	180	12890	98.62

Se probaron otros dos reactivos para remover el pesticida, esta vez efectuando el método de coagulación-floculación, sulfato de aluminio (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) e hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), con los cuales se obtuvo una concentración final de pesticida de 460 y 180 ppm, respectivamente, como señala la tabla anterior. Como se puede observar, la mayor remoción de pesticida se logró con el uso de Ca(OH)<sub>2</sub> logrando una disminución del 98.6%, razón por la cual se propone utilizar éste reactivo en el proceso continuo de tratamiento del efluente contaminado. Cabe mencionar que el tiempo de retención para los tres experimentos fue de una hora.

Debido a que no se logró degradar el color del azul de metileno con el óxido de titanio, se optó por utilizar carbón activado para absorber el colorante y logró eliminar casi todo el colorante en un tiempo de 30 minutos con agitación constante.

Ahora, para el diseño del tren piloto para el tratamiento continuo del efluente se realizaron pruebas en las que primero se hacía pasar el efluente por el carbón activado para eliminar el color y posteriormente se le agregaba la cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>) para remover el pesticida. También se realizó el procedimiento de forma inversa, primero se trataba con cal y luego se realizaba la adsorción del colorante con el carbón activado. Para fines prácticos, se diseñó el tren de tratamiento como señala la segunda propuesta, primero se hacía pasar el efluente por cal y posteriormente por carbón activado, esto con la finalidad de efectuar una sola filtración al final del tratamiento para retener tanto las partículas de cal, como las de carbón.

Una vez decididos los reactivos y el orden de las etapas de tratamiento, se montó un tren piloto como se muestra en la Figura 1.1. Este prototipo se consta de tres “T” de equipos de destilación cada una con una mosca en su interior, conectadas en serie y con un filtro de algodón con gasa a la salida de cada una. Cada “T” representa una etapa, siendo las primeras dos para la remoción del pesticida, por lo que se colocó cal hidratada en cada una de ellas y en la tercera se colocó carbón activado para eliminar el colorante. Para la puesta en marcha, se alimentó poco a poco el efluente a la primera “T” e iba pasando por las otras etapas, cabe mencionar que las tres etapas se mantuvieron en agitación constante con un tiempo de retención de media hora en cada una. Este proceso se asemeja al funcionamiento de dos reactores de tanque de agitación continua (CSTR) en serie para eliminar pesticida y

uno para eliminar colorante, tal como se muestra en el diagrama de la Figura 1.2.



Figura 1.1. Prototipo del tren de tratamiento del efluente.

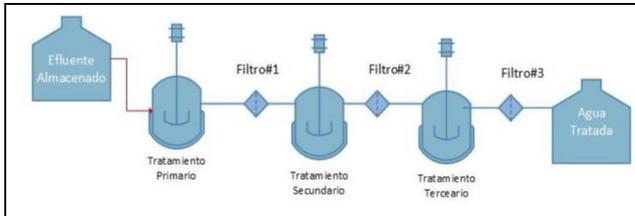


Figura 1.2. Diagrama del tren de tratamiento del efluente.

Se tomó una muestra de agua en cada una de las etapas al final de su tiempo de retención, se filtró y se analizó la concentración tanto de pesticida como de azul de metileno. En las tablas 1.2 y 1.3 se puede observar la remoción de pesticida y colorante en cada una de las etapas, logrando una remoción total del 99% de pesticida y del 99.75% de azul de metileno.

Es importante observar que la cal hidratada también ayuda a remover el colorante, sin embargo, si sólo se utilizara esta, sólo se lograría remover alrededor de un 80% del azul de metileno, por eso se considera importante conservar la etapa que corresponde al tratamiento con carbón activado ya que con esta se logra una remoción casi del 100%. También se observó que el carbón activado ayudó a remover una pequeña fracción del pesticida, aunque el 90% de este queda eliminado en la primera etapa.

Tabla 1.2. Remoción de pesticida del efluente.

Etapas	Concentración inicial [ppm]	Concentración final [ppm]	Cantidad removida [ppm]	% de remoción
1	13070	1414	11656	90.0
2	1414	949	465	3.6
3	949	128	821	6.3

Tabla 1.3. Remoción de azul de metileno del efluente.

Etapas	Concentración inicial [ppm]	Concentración final [ppm]	Cantidad removida [ppm]	% de remoción
1	1256	281	974	77.8
2	281	237	44	3.5
3	237	3	234	18.7

Si se observa la apariencia del efluente a su paso por las etapas del tren de tratamiento se puede notar que inicialmente se distinguen dos fases (Figura 1.3), una acuosa en la parte

inferior de color azul rey con partículas suspendidas y una aceitosa de color azul celeste en la parte superior, la cual corresponde al pesticida. Si se ve de este modo se habría podido eliminar el pesticida mediante la separación de las fases por extracción líquido-líquido, sin embargo, el pesticida se emulsiona con el agua, porque se tendría que desestabilizar la emulsión para realizar la extracción, lo cual se intentó mediante aireación y por efecto salino (adición de sal), pero ninguno de los dos métodos funcionó.



Figura 1.3. Efluente contaminado



Figura 1.4. Efluente después de la etapa 1



Figura 1.5. Efluente después de la etapa 2



Figura 1.6. Efluente al final del tren de tratamiento

Continuando con el procedimiento propuesto, después de que el efluente pasaba por la primera etapa (Figura 1.4), desaparecían las dos fases debido a que en esta se remueve el 90% del pesticida; sin embargo, aún se observan partículas suspendidas, las cuales desaparecen al final de la segunda etapa (Figura 1.5), en donde se observa una solución translúcida de color azul rey. Al término del tratamiento, el color desaparece (Figura 1.6).

#### IV. CONCLUSIONES

La propuesta metodológica para el tratamiento de agua contaminada con dos componentes que causan daños a la salud humana logra una remoción mayor al 90%, se puede decir que el tren de tratamiento es eficiente y si bien el agua tratada que se obtuvo al final del proceso, no es potable, si se podría reutilizar para riego agrícola, en lugar de que se siga utilizando agua residual sin ningún tipo de tratamiento, con lo cual se evitaría la bioacumulación de contaminantes en vegetales o incluso en animales que posteriormente consumimos.

El procedimiento propuesto es muy simple en cuanto a operación y costo de los reactivos lo que lo hace un procedimiento competitivo para su posible aplicación.

## REFERENCIAS

- [1] EcuRed, “Aguas residuales”, 2018. Recuperado el 24 de octubre del 2018 de: [https://www.ecured.cu/Aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Aguas_residuales)
- [2] OMS, “El uso de aguas residuales”, 2018. Recuperado el 8 de octubre del 2018 de: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/](https://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/)
- [3] A. E. Brailovsky, “Insecticidas peores que los insectos”, 2007. Recuperado el 22 de septiembre del 2018 de: [http://www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6483:informe-sobre-tratamiento-de-aguas-residuales-en-mexico&Itemid=597](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=6483:informe-sobre-tratamiento-de-aguas-residuales-en-mexico&Itemid=597)
- [4] Atl. “Informe sobre tratamiento de aguas residuales en México”, 2013. Recuperado el 22 de septiembre del 2018 de: [https://www.ecoportal.net/temas-especiales/contaminacion/insecticidas\\_peores\\_que\\_los\\_insectos/](https://www.ecoportal.net/temas-especiales/contaminacion/insecticidas_peores_que_los_insectos/)
- [5] Anónimo. “Degradación de colorantes (azul de metileno) por reacción de Fenton electroquímico” 2018. Recuperado el 5 de octubre del 2018 de: [https://feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria22/feria316\\_01\\_degradacion\\_de\\_colorantes\\_azul\\_de\\_metileno\\_por\\_rea.pdf](https://feriadelasciencias.unam.mx/antiores/feria22/feria316_01_degradacion_de_colorantes_azul_de_metileno_por_rea.pdf)