

## Inactivación de coliformes fecales en aguas del Municipio de Rodeo, Durango, mediante tratamientos solares con Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) y Peróxido de Hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

MARROQUÍN, Francisca\*†, SANTILLAN, Manuel y PANTOJA-ESPINOZA, Juan C

*Universidad Tecnológica de Rodeo. Carretera Federal Panamericana Km. 159.4, México 45 SN, 35760 Rodeo, Durango*

Recibido 04 Junio 2017; Aceptado 25 Septiembre, 2017

### Resumen

Este trabajo de investigación consistió en el estudio de procesos avanzados de oxidación fotoquímicos con tratamientos solares, el fotocatalizador dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); para la inactivación de coliformes fecales en agua residual de la localidad de Linares del Río, municipio de Rodeo, Durango, México. Se utilizó un reactor solar de cama dura de 0.3mx0.33m, a una velocidad de flujo de 355 L/h y ángulo de inclinación de 20°. El desarrollo experimental consistió en recircular en el reactor solar, un litro de agua residual tomando muestras a los tiempos 0, 5, 15, 30 y 60 minutos de reacción para su posterior cuantificación del número más probable de coliformes fecales por cada 100 mL (NMP/100 mL). Los tratamientos solares se realizaron en ausencia (fotólisis) y presencia (fotocatálisis) de TiO<sub>2</sub> (2 g/m<sup>2</sup>), así como empleando diferentes dosis del agente oxidante H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (2, 3, 3.5 y 4 mM). El tratamiento solar, empleando 3.5 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue el más eficiente encontrando que a los 5 minutos de reacción se inactivaron el total de coliformes fecales en la muestra de agua residual, demostrando también ausencia de estas bacterias en el análisis de reactivación a las 24 horas.

**Fotólisis, radiación solar, temperatura, agua residual, coliformes**

### Abstract

This research work involved the study of advanced processes of photochemical oxidation with solar treatments, the photocatalyst with titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). The inactivation of fecal coliforms was municipal wastewater from Linares del Río, Rodeo, Durango, Mexico. A flat glass plate solar photoreactor of 0.3mx0.33m was used, at a flow rate of 355L/h and an angle of inclination of 20°. The experimental development consisted in recirculating in the solar reactor one liter of municipal wastewater, taking samples at 0, 5, 15, 30 and 60 minutes of reaction for later quantification of the most probable number of fecal coliforms per 100 mL (MPN/100 mL). The solar treatments were performed in absence (photolysis) and presence (photocatalysis) of TiO<sub>2</sub> (2 g/m<sup>2</sup>), as well as using different doses of the oxidizing agent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (02, 3, 3.5 and 4 mM). The solar treatment using 3.5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was the most efficient finding that at 5 minutes of reaction the total of fecal coliforms were inactivated in the sample of municipal wastewater, demonstrating also absence of these bacteria in the analysis of reactivation at the 24 hours.

**Photolysis, solar radiation, temperature, residual water, coliforms**

**Citación:** MARROQUÍN, Francisca, SANTILLAN, Manuel y PANTOJA-ESPINOZA, Juan C. Inactivación de coliformes fecales en aguas del Municipio de Rodeo, Durango, mediante tratamientos solares con Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) y Peróxido de Hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Revista de Simulación y Laboratorio. 2017, 4-12: 37-45.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: manuelss16@outlook.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

Podemos comenzar diciendo que el agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta Tierra. Además que el agua es uno de esos elementos que más directamente tienen que ver con la posibilidad del desarrollo de distintas formas de vida. Es por esto que debemos de poner mayor atención es su cuidado y tratar de hacer conciencia y preguntarnos, ¿qué haríamos si llegara a faltarnos Este líquido vital?

Las aguas residuales pueden ser industriales o municipales, las de origen municipal se generan en centros urbanos o rurales y son descargadas a sistemas de alcantarillado para su depuración en las diferentes plantas de tratamiento. Esta agua se encuentra contaminada entre otros, con materiales fecales humanos o de animales (Madigan et al., 2005).

Los procesos avanzados de oxidación, consisten básicamente en la formación de radicales hidroxilo altamente oxidantes, los cuales contribuyen a la mineralización total de los compuestos orgánicos contaminantes presentes en aguas residuales.

En este capítulo se darán a conocer Resolver los problemas que presenta el agua es, un reto que enfrentará la humanidad, es por esto que, en este trabajo se estudia la inactivación de coliformes fecales en aguas residuales del municipio de Rodeo, Dgo., mediante los tratamientos solares fotólisis y fotocátalisis con dióxido de titanio TiO<sub>2</sub>, utilizando peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como agente oxidante.

## Antecedentes

### El Agua

Según la Real Academia Española, el agua (del latín aqua) es sustancia formada por la combinación de una molécula de oxígeno y dos de hidrogeno, es líquida, inodora e insípida. Aguas Residuales Municipales Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Merli y Ricciuti, 2009).

### Tratamiento De Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales, también conocido como proceso de depuración, es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua.

### Microorganismos En Aguas Residuales Municipales

#### *Escherichia coli (E. coli)*

Las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C se conocen como coliformes termotolerantes. En la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia*, pero algunos tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* también son termotolerantes (George et al., 2008).

### Energía radiante y espectro electromagnético

La energía radiante llamada también como energía electromagnética, es aquella que se transmite por medio de una partícula elemental llamada fotón, interactúa con la materia para transferir una cantidad fija de energía. Partícula que está presente en las ondas electromagnéticas, en los rayos gama, en los rayos ultravioletas (UV).

Los rayos infrarrojos (IR), las ondas de radio, la luz visible (espectro electromagnético), hasta en la luz y el calor del sol (calefacción solar, 2014).

### **Fotólisis**

Los métodos fotolíticos para la degradación de contaminantes disueltos en el agua se basan en proporcionar energía a los compuestos químicos en forma de radiación, que es absorbida por las distintas moléculas para alcanzar estados excitados en el tiempo necesario para experimentar reacciones (Garcés-Giraldo et al., 2004).

En presencia de radiación ultravioleta se produce la fotólisis de un gran número de compuestos orgánicos. El proceso tiene lugar en el dominio del UV-C (210-230nm) se basa en la formación de radicales C-centrados, es decir, radicales libres (Garcés-Giraldo et al., 2004).

### **Inactivación de microorganismos con radiación UV artificial**

La luz ultravioleta (UV) presenta un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto de agua potable como de aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección problemáticos (Wright y Cairns, 2002).

Hoy en día existen más de 2000 instalaciones en Europa que usan UV para desinfectar agua potable y más de 1000 instalaciones en los Estados Unidos. La desinfección UV es popular en New York donde se le usa para desinfectar más de 6.4% de todos los sistemas de agua subterráneas (Wright y Cairns, 2002).

### **Desinfección solar**

El proceso de desinfección solar es un proceso térmico que consiste en elevar la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción del calor proveniente de la radiación solar. Estos contenedores pueden ser de diversos materiales conductores del calor; en todos los casos se busca que sean de color negro porque absorben mejor el calor en oposición a los colores claros, que por sus propiedades reflectoras acopian mejor el calor. El color oscuro permite un aumento acelerado de la temperatura del agua y la conservación del calor por más tiempo (Solsona y Mendéz, 2002).

### **Procesos avanzados de oxidación (PAO'S)**

Los procesos avanzados de oxidación involucran la generación de especies altamente oxidantes que reaccionan rápidamente y que pueden degradar fácilmente sustancias orgánicas. Una de las especies más oxidantes que se logran formar dentro de estas reacciones son los radicales hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ) sólo menor al flúor en cuanto a su poder oxidativo.

### **Fotocatálisis**

La fotocatalisis es un acelerador de los procesos de oxidación que ya existen en la naturaleza y favorece la descomposición más rápida de los contaminantes evitando su acumulación (Bianchi, 2013).

### **Fotocatálisis Heterogénea con Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>)**

El más ampliamente usado en aplicaciones fotocatalíticas es el dióxido de titanio Degussa P25 en forma de anatasa 99% y en forma de rutilo P25 1% ya que presenta una mayor actividad fotocatalítica, no es tóxico, es estable y no es costoso, habiéndose evaluado diferentes estructuras del mismo (Garcés-Giraldo et al., 2004).

En 1878, Downs y Blunt reportaron por primera vez los efectos germicidas de la energía radiante del sol. Los primeros intentos experimentales para usar UV como desinfectante del agua se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó UV en los Estados Unidos para la desinfección del agua y para proveer agua potable en los barcos (Wright y Cairns, 2002).

El incremento de aguas residuales, está directamente relacionado con el aumento de la población, así como de las diferentes actividades económicas, ya que crecen las necesidades diarias de uso y consumo. El agua residual de origen municipal es una fuente de contaminación y un vector de enfermedades para los seres vivos y seres humanos.

El cloro que se utiliza en el proceso de desinfección en las PTAR, al tener contacto con la materia orgánica se tiene como subproductos, compuestos organoclorados, y estos se atribuyen a enfermedades cancerígenas. Este proceso se sigue utilizando por ser más económico que algunos otros procesos como son la ozonación, ya que son elevados sus costos de consumo de energía.

Desde hace tiempo, se ha venido estudiando la eficacia de los procesos de fotólisis y fotocátalisis en la inactivación de bacterias coliformes así como la degradación de algunos compuestos orgánicos, donde se utiliza radiación ultravioleta. Sin embargo, un área de oportunidad y de interés es el estudio de la inactivación de bacterias coliformes en aguas reales utilizando radiación solar en los procesos de fotólisis y fotocátalisis.

## Objetivos

### Objetivo general

Inactivar bacterias coliformes fecales en aguas residuales del municipio de Rodeo, Dgo., mediante tratamientos solares con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).

### Objetivos específicos

- Inactivar bacterias coliformes fecales en aguas residuales mediante fotocátalisis solar con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).
- Inactivar bacterias coliformes fecales en aguas residuales con radiación solar y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).
- Optimizar la dosis de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para la inactivación total de coliformes fecales sin reactivación después de 24 horas del tratamiento.

## Metodología

### Área de estudio

### Lagunas de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Dgo

Se inactivaron bacterias coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación del poblado de Linares del Río, municipio de Rodeo, Dgo. Mediante los procesos de radiación solar con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y fotocátalisis solar con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).

### Reactor solar de placa plana

Se realizaron en un fotorreactor de cama dura bajo radiación solar natural.

- El fotorreactor consta de una estructura metálica que soporta un contenedor de acrílico donde se coloca una placa de vidrio esmerilado de 1/10 m<sup>2</sup> de superficie (0.30mx0.33m), usada como soporte del fotocatalizador TiO<sub>2</sub>.

- En el fondo del contenedor se coloca un recipiente con la muestra del efluente municipal de lagunas de oxidación.
- Dentro del recipiente se deposita una bomba sumergible, calibrada a un flujo de 163 L/h, para impulsar el agua residual a través de una manguera hasta la parte superior del contenedor de acrílico, lugar donde está posicionado un tubo con orificios distribuidos de manera uniforme.
- Permitiendo al efluente formar una capa delgada sobre la placa de vidrio y recolectarlo nuevamente en el recipiente mediante un sistema de desagüe, ubicado en la parte inferior del contenedor de acrílico, de esta manera recircular el efluente durante el tiempo de experimentación.
- El fotorreactor fue ajustado a un ángulo de inclinación de 20° con el propósito de captar mayor radiación solar durante los experimentos.
- Las placas de vidrio esmerilado fueron usadas como soporte en los experimentos de fotólisis (sin TiO<sub>2</sub>) y fotocátalisis (con TiO<sub>2</sub>).
- Preparando una solución acuosa con 200 mg de TiO<sub>2</sub> y se disolvieron en 30 ml de agua destilada, posteriormente la solución fue distribuida sobre la superficie de vidrio mediante aspersión a una distancia aproximada de 15 cm, utilizando un atomizador con capacidad de 500 ml.

### Inactivación de coliformes fecales

Para la inactivación de bacterias coliformes fecales en efluentes de lagunas de oxidación.

- Se utilizó TiO<sub>2</sub>, para medir la masa del fotocatalizador se utilizó una balanza analítica.
- Se registró la temperatura y humedad, utilizando el equipo Wireless Vantage Pro2™.

- Los volúmenes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron medidos con una micropipeta.

### Análisis microbiológicos

Para llevar a cabo los análisis microbiológicos en las pruebas experimentales para la inactivación de bacterias coliformes fecales en aguas residuales de las lagunas de oxidación del municipio de Rodeo, Dgo.

- Se utilizó agua destilada y medio de cultivo EC. El equipo necesario fue: autoclave 20lb para esterilizar tubos con medio de cultivo y agua destilada estéril como medio de dilución, una campana de flujo laminar y pipetas volumétricas de 1ml.
- Una serie de tres tubos secuenciales con medio EC fue inoculada directamente de las muestras a los diferentes tiempos.
- También una serie de cinco diluciones fueron preparadas usando tubos con agua destilada estéril y se inocularon una serie de tres tubos secuenciales con medio EC para cada dilución.
- Los tubos fueron posicionados en incubadora a 44 °C durante 24-48 h, posteriormente se contabilizaron los tubos positivos en cada dilución y mediante tablas de número más probable se realizó el cálculo del NMP/100mL de coliformes fecales para cada muestra analizada.

### Análisis Estadístico

#### Diseño factorial 2x4 con covariables

- Para el estudio de la inactivación de bacterias coliformes fecales en efluentes de las lagunas de oxidación Linares del Río, Rodeo, Durango, se realizó un diseño factorial 2x4 con covariables. El modelo incluye 2 factores y cinco covariables así como las diferentes interacciones.

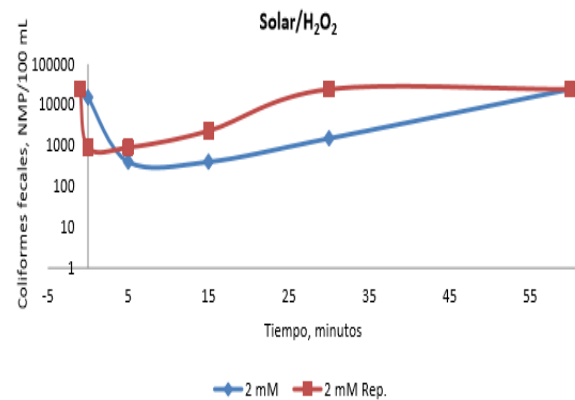
- Los factores fueron el proceso fotoquímico con niveles fotólisis o fotocatalisis, el segundo factor fue la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con niveles de 2, 3, 3.5 y 4 mM.
- Las covariables fueron las temperaturas inicial y final al momento de realizar el experimento, el volumen de efluente evaporado y las concentraciones de coliformes fecales antes y después de añadir la dosis correspondiente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al efluente, para realizar el experimento (NMP/100 mL al t=0 min).

## Resultados

### Inactivación de coliformes fecales

Para la inactivación de bacterias coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Dgo., utilizando el proceso solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Se corrieron experimentos utilizando dosis de 5 y 10 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> encontrando en ambos casos que el NMP/100 mL de estas bacterias en las muestras analizadas para cada tiempo fue cero; por otra parte, con la dosis de 1 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, la inactivación de coliformes fecales fue prácticamente nula.

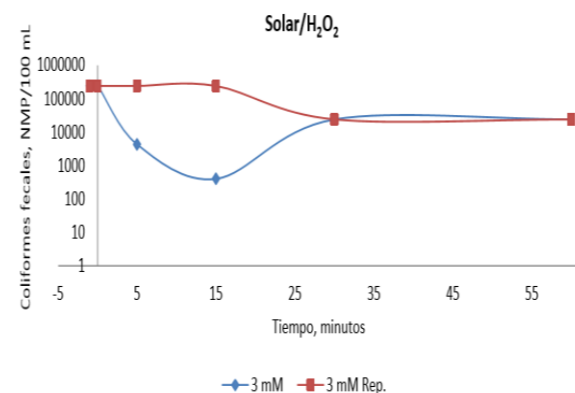
La muestra de agua real la dosis de 2 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se observó una disminución del NMP/100 mL de coliformes fecales, después fue en aumento hasta alcanzar los 2.4x10<sup>4</sup> NMP/100 mL a los 60 minutos de experimentación, esta fue la cantidad de coliformes fecales antes de añadir la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, por lo que bajo estas condiciones se inactivaron el 0% de las bacterias iniciales.



**Grafico 1** Inactivación de coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo,

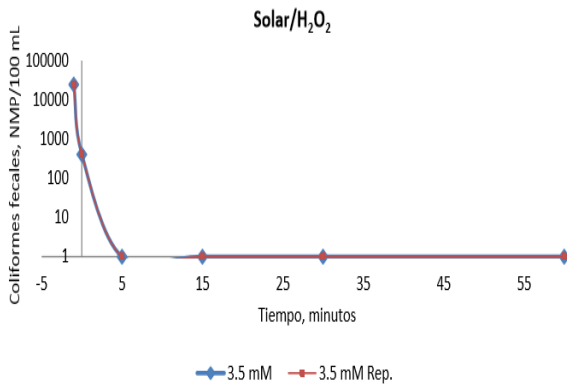
Durango; utilizando el proceso solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con dosis 2 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

La variación del NMP/100 mL fue similar a los experimentos donde la dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue de 2 mM desde el tiempo t=0 min hasta el tiempo t=30 min. Al final de los experimentos con dosis de 3 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, al tiempo t=60 min se inactivaron el 90% de las bacterias coliformes fecales quedando al final de estos experimentos 2.4x10<sup>4</sup> NMP/100 mL de la cantidad inicial en estas condiciones (2.4x10<sup>5</sup> NMP/100 mL).



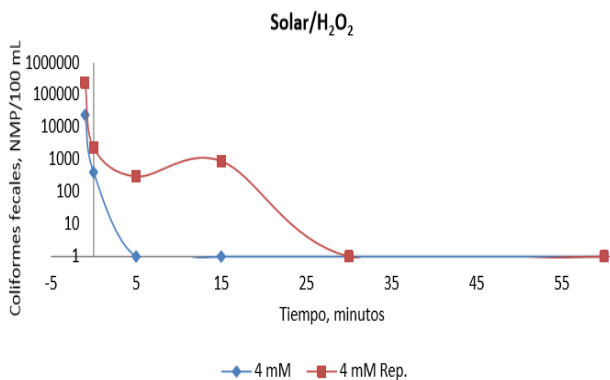
**Grafico 2** Inactivación de coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Durango; utilizando el proceso solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con dosis 3 mM de H<sub>2</sub>O

Bajo esta dosis ( $H_2O_2=3.5mM$ ) el NMP/100 mL de coliformes fecales en la muestra de agua real disminuyó 98.33% al inicio del experimento y su repetición, y a los 5 minutos de reacción se inactivaron el 100% de las bacterias.



**Figura 3** Inactivación de coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Durango; utilizando el proceso solar/ $H_2O_2$  con dosis 3.5 mM de  $H_2O_2$

El proceso solar/ $H_2O_2$  con dosis 4 mM de  $H_2O_2$ . Bajo esta dosis ( $H_2O_2=4mM$ ) el NMP/100 mL de coliformes fecales en la muestra de agua real disminuyó de manera similar al de 3 mM en uno de los experimentos 98.33% al inicio del experimento y a los 5 minutos de reacción se inactivaron el 100% de las bacterias.

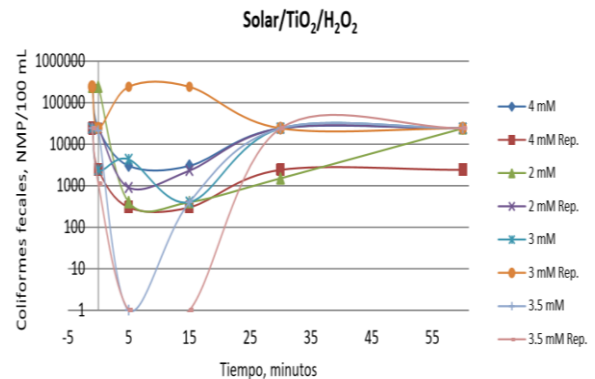


**Gráfico 4** Inactivación de coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Durango; utilizando el proceso solar/ $H_2O_2$  con dosis 4 mM de  $H_2O_2$

### Fotocatálisis con peróxido de hidrógeno (solar/ $TiO_2/H_2O_2$ )

Contrario a lo que se pudiera esperar, el efecto de la radiación solar, el fotocatalizador  $TiO_2$  y el agente oxidante  $H_2O_2$  en los procesos solar/ $TiO_2/H_2O_2$ , los porcentajes de inactivación de coliformes fecales fueron menores a los presentados en el proceso solar/ $H_2O_2$ .

En el gráfico 5 se observa que sólo bajo la dosis de 3.5 mM la inactivación fue mayor pero sólo en los primeros minutos de experimentación (tiempos 0 a 15 minutos); desde los 30 minutos de reacción en todos los experimentos con las diferentes dosis, el NMP/100 mL de coliformes fecales aumentó hasta mantenerse cercano a la cantidad inicial de las bacterias.



**Gráfico 5** Inactivación de coliformes fecales en efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Durango; utilizando el proceso solar/ $TiO_2/H_2O_2$  con dosis 2, 3, 3.5 y 4 mM de  $H_2O_2$

### Análisis de reactivación de coliformes fecales

Para corroborar la completa inactivación de las bacterias coliformes fecales en aguas de laguna de oxidación del municipio de Rodeo, Dgo., se realizaron experimentos de reactivación; es decir, de cada experimento de fotólisis se conservó la última muestra en la oscuridad y 24 horas después se hizo el análisis del NMP/100 mL.

MARROQUÍN, Francisca, SANTILLAN, Manuel y PANTOJA-ESPINOZA, Juan C. Inactivación de coliformes fecales en aguas del Municipio de Rodeo, Durango, mediante tratamientos solares con Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ ) y Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ ). Revista de Simulación y Laboratorio. 2017.

Solar/H2O2		
DOSIS	Reactivación NMP/100mL.	
2.0mM	2.1×10 <sup>2</sup>	40
3.0mM	2.3×10 <sup>2</sup>	24×10 <sup>3</sup>
3.5mM	0	0
4.0mM	0	0

**Tabla 1** se muestra el análisis de reactivación de coliformes fecales en NMP/100 mL para los experimentos de fotólisis con H2O2

Mediante estos análisis se comprobó que en los tratamientos de fotólisis con dosis de 3.5mM y 4mM de H2O2 la reactivación de bacterias coliformes fue cero en agua de la laguna de oxidación de Linares del Río, municipio de Rodeo, Dgo.

### Análisis estadístico

Se realizó el análisis ANOVA

Fuente	DF.	SS	CM	F-VALOR	P
Modelo	12	1842395775	153532981	7.33	.0636
error	3	62806069	20935356		

**Tabla 2** Análisis de varianza para el modelo estadístico

Este modelo estadístico presentó un coeficiente de correlación  $R^2=0.9670$  lo que indica que el diseño estadístico es representativo de los experimentos. El modelo muestra también buena significancia ya que es ligeramente mayor a 0.05, sin embargo, para una  $p<0.1$  el modelo es bastante significativo.

FUENTE	DF	SS	CM	F-VALOR	P
PAO	1	345681056.	345681056.	16.51	0.026
AO	3	922077168.	307359056.	14.68	0.026
CF	1	46526490.0	46526490.0	2.22	0.232
CF0	1	97113.0	97113.0	0.00	0.950
T0min	1	167859301.	167859301.	8.02	0.066
T6min	1	37087969.7	37087969.7	1.77	0.275
Evaporac	1	164421.9	164421.9	.01	0.935
PAO*AO	3	322902254.1	107634084.	5.14	0.105

**Tabla 3** se muestra el análisis de varianza al diseño factorial 2x4 con las cinco covariables y algunas interacciones

El análisis de varianza mostró significancia ( $p\leq 0.05$ ) en el proceso avanzado de oxidación (PAO) y las dosis de H2O2 (AO) y menor significancia ( $p\leq 0.1$ ) en la covariable temperatura inicial de los experimentos y la interacción PAO\*AO. Lo que indica que en la inactivación de coliformes fecales influye el tipo de proceso (fotólisis o fotocátalisis) así como las diferentes dosis de H2O2.

### Conclusiones

Se inactivaron las bacterias coliformes fecales presentes en muestras de efluentes de la laguna de oxidación de Linares del Río, Rodeo, Durango, México, mediante fotólisis solar y fotocátalisis solar con TiO<sub>2</sub> bajo el efecto del H2O<sub>2</sub>, alcanzando la inactivación y muerte de los coliformes fecales con tratamientos solar/H2O<sub>2</sub>, añadiendo dosis de 3.5 y 4 mM de H2O<sub>2</sub>. El uso de un diseño factorial 2x4 con covariables aplicado a la inactivación de coliformes fecales mediante fotólisis y fotocátalisis con TiO<sub>2</sub>, permitió hacer un análisis de varianza, encontrando significancias en los factores (PAO y H2O<sub>2</sub>) y sus interacciones con el factor proceso avanzado de oxidación, así como con la covariable temperatura inicial.

### Referencias

A.C y FONDO PARA LA COMUNICACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL. (2004). Marco jurídico del agua, NMP-AA-42-1987 Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva, <http://www.agua.org.mx/bibliotecatematica/marco-juridico-del-agua/1466-normas-mexicanas/15238-nmx-aa-42-1987-calidad-del-agua-determinacion-del-numero-mas-probable-nmp-de-coliformes-totales-coliformes-fecales-termotolerantes-y-escherichia-coli-presuntiva>. Fecha de consulta: 19 de Enero del 2017.



Calefacción solar. (2014). Qué es la energía radiante, <http://calefaccion-solar.com/que-es-la-energia-radiante.html>. Fecha de consulta: 19 de Enero del 2017.

Carrasco-Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas, *Idesia (Arica)*. Vol. 27, No. 3, Pp. 59-76.

Castillo, A. (2012). Meteorología en red, la radiación en la superficie terrestre, <http://www.meteorologiaenred.com/la-radiacion-en-la-superficie-terrestre.html>. Fecha de consulta: 21 de Enero del 2017.

CONAGUA. (2007). Estadísticas del agua en México, Capítulo 8 Agua en el Mundo, Edición 11, Pp. 14, [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_8.pdf). Fecha de consulta: 04 de Marzo del 2017.

CONAGUA. (2015). Atlas del agua en México 2015, red de monitoreo de la calidad del agua, Pp. 59-77. Fecha de consulta 03/04/2017.

CYCLUS. (2002). Tratamiento primario, <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>. Fecha de consulta: 21 de Enero del 2017.

EQUITEC. (2005). 3M Petrifilm, placas para recuento de coliformes, pág. 1, <http://equitecsal.com/wp-content/uploads/2016/10/Guia-de-Interpretacion-Coliformes-Totales.pdf>. Fecha de consulta: 01 de Marzo del 2017.

FAO, OMS y WWAP. (2003). Agua para todos, agua para la vida, Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, Pp. 17-20.

Garcés-Giraldo, L., Mejía-Franco, E. y Santamaría-Arango, J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, *Revista Lasallista*, Vol. 1, No. 1, Pp. 10.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Rodeo por la facilidad y apoyo para realizar el presente trabajo de investigación.