



Title: Diseño y construcción de un reactor solar para remoción de benceno contenido en agua residual tratada mediante un sistema foto fenton

Author: José, RODRIGUEZ-MORALES, María Carolina, ESPINOSA-ARZATE, Víctor, PEREZ- MORENO, Rodrigo Rafael, VELAZQUEZ-CASTILLO

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 44
Mail: josealberto970@hotmail.com
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	Republic of Congo
Ecuador	Taiwan	
Peru	Paraguay	Nicaragua



Introducción

En esta investigación propone es incrementar la eficiencia en la remoción de Materia Orgánica (MO) y de un Contaminantes Orgánicos recalcitrantes (COR), benceno, contenidos en agua residual, mediante el acoplamiento de un sistema biológico aerobio no fijo, y un PFF, haciendo uso de un dispositivo diseñado para una alta eficiencia en la captura de luz solar.



Introducción

La industrialización y el desarrollo de la vida urbana han dado como resultado la introducción de una amplia gama de compuestos químicos en el ambiente, actualmente reconocida como una amenaza extrema a la capacidad de autorregulación de la biosfera. Un inventario reciente de la Comunidad Europea enumera más de cien mil diferentes sustancias sintetizadas por el hombre; de ellas treinta mil fueron consideradas por ser compuestos bioacumulativos, recalcitrantes de la contaminación al ambiente o el transporte costo- y/o tóxicos .



Tratamiento de aguas residuales

microrganismos responsables de la biodegradación son las bacterias, pero también es importante el papel de otros, como son los protozoarios, rotíferos, hongos y algas. La dinámica de la población bacteriana en los procesos de tratamiento biológicos depende de varios factores ambientales incluyendo pH, temperatura, tipo y concentración del sustrato, aceptores de hidrógeno, disponibilidad y concentración de los nutrientes y micronutrientes esenciales tales como nitrógeno, fósforo y algunos minerales, presión osmótica, toxicidad del medio o de los productos intermedios, nivel y tipo de mezclado. Dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno, los procesos biológicos pueden ser:

Aerobios. Anaerobios. Combinados.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Tratamiento de aguas residuales

microrganismos responsables de la biodegradación son las bacterias, pero también es importante el papel de otros, como son los protozoarios, rotíferos, hongos y algas. La dinámica de la población bacteriana en los procesos de tratamiento biológicos depende de varios factores ambientales incluyendo pH, temperatura, tipo y concentración del sustrato, aceptores de hidrógeno, disponibilidad y concentración de los nutrientes y micronutrientes esenciales tales como nitrógeno, fósforo y algunos minerales, presión osmótica, toxicidad del medio o de los productos intermedios, nivel y tipo de mezclado. Dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno, los procesos biológicos pueden ser:

Aerobios. Anaerobios. Combinados.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Compuestos orgánicos recalcitrantes (COR).

La contaminación química proviene de la industria farmacéutica y química, tecnologías alimentarias, refinerías, plantas petroquímicas, manufactureras de colorantes y textiles, actividad agro-industrial así como los productos de aseo personal, de limpieza, fármacos, surfactantes, colorantes, aditivos. Las aguas residuales que contienen este tipo de COR se caracteriza por presentar valores altos en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), y bajos en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).



Compuestos orgánicos recalcitrantes (COR).

El tratamiento de los efluentes puede ser un objetivo complejo en algunos casos en los que los procesos convencionales son ineficaces, como ocurre cuando se requiere eliminar el color debido a la toxicidad de las estructuras polifenólicas. En estas circunstancias, cuando hay presentes productos orgánicos recalcitrantes, de origen industrial, los procesos de oxidación avanzada, o fotooxidación, se presentan como una solución sencilla y eficaz para tratar estos efluentes complejos.

De entre estos procesos, los que presentan mejores perspectivas son los consistentes en la fotooxidación, ya sea en cualquier de sus dos variantes: fotólisis y fotocátalisis.



Compuestos orgánicos recalcitrantes (COR).

Los procesos de oxidación avanzada, en general tienen como objetivo la formación de radicales hidroxilo ($\text{OH}\bullet$), los cuales son muy reactivos debido a su elevado potencial de oxidación. Estos radicales en presencia de materia orgánica desencadenan una serie de reacciones químicas que acaban dando como resultado la mineralización completa de los compuestos orgánicos, CO_2 y agua.



Compuestos orgánicos recalcitrantes (COR).

La radiación origina reacciones de oxidación mediante la formación de radicales libres. Para que estas reacciones se produzcan es necesaria la presencia de especies oxidantes, las cuales permiten la formación de estos radicales. Entre los agentes oxidantes más efectivos se encuentran el ozono y el peróxido de hidrógeno. La combinación de radiación ultravioleta y ozono o peróxido de hidrógeno es muy efectiva al constituir una gran fuente de radicales libres y consigue la oxidación no selectiva de la mayoría de las moléculas orgánicas. Asimismo, son reactivos sostenibles ambientalmente puesto que se descomponen en oxígeno y agua.



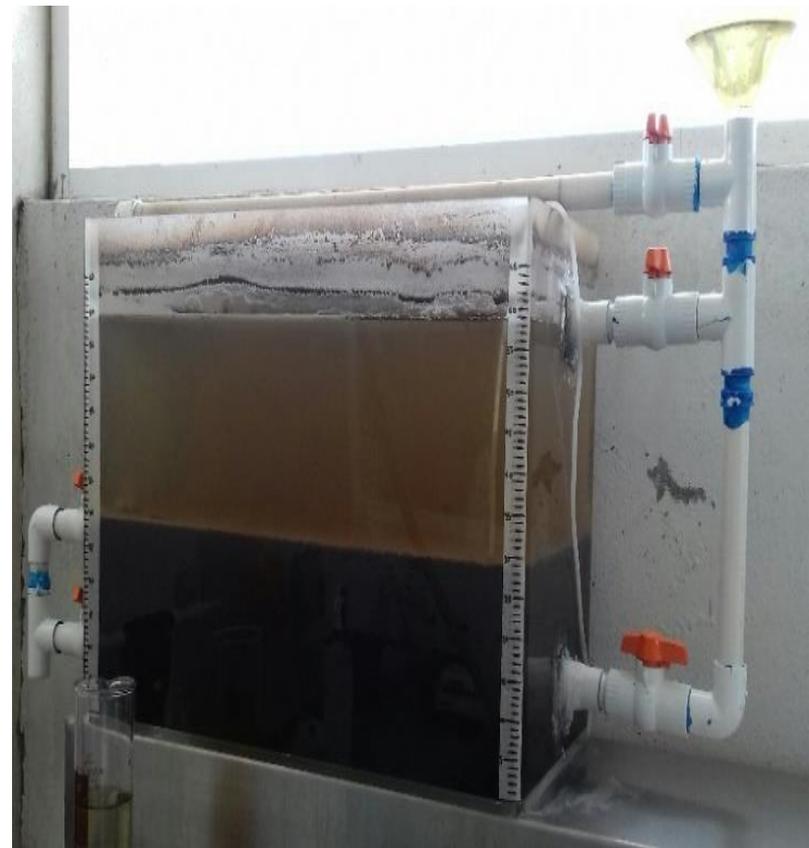
Compuestos orgánicos recalcitrantes (COR).

Son de especial atención por su toxicidad potencial, carcinogenicidad y mutagenicidad, a pesar de estar presentes en cantidades de hasta ng/L, esta es suficiente para poder ser tóxicos. El compuesto aromático, benceno, es considerado una de las principales causas de contaminación ambiental. La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos lo tiene catalogado como prioridad en su lista de contaminantes.



Metodología Estabilización del PBA.

Para realizar el PBA con lodos activados se usó un reactor discontinuo por lotes (SBR por sus siglas en inglés), el cual consistió en un tanque rectangular con capacidad de 70 a 80 litros acoplado con tubería para la entrada del Agua Residual (AR), salida para efluente y lodos. Para obtener la aireación se utilizó una bomba de aireación con 4 difusores de manguera de 75 cm de largo, acomodados de tal manera que cubrieron el fondo del reactor.





Metodología

Adaptación del PBA al benceno.

La población de microorganismos que existe en el proceso de lodos activados puede biodegradar diferentes fuentes de sustrato, como por ejemplo los compuestos aromáticos volátiles. Sin embargo, hay un máximo de concentración donde el sustrato inhibe el crecimiento ya que empieza a ser tóxico para la población microbiana.



Metodología

Adaptación del PBA al benceno.

Para probar la capacidad del lodo activado de metabolizar al benceno se realizaron pruebas de biodegradación: si se tiene la capacidad de originar nuevas células, la concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor Mixto (SSLM) aumentará en cierto tiempo. Se prepararon tres reactores tubulares de vidrio con capacidad de 2 L (medidas 34.5 cm x 7.0 cm), y se graduaron cada 50 ml. La aireación se obtuvo con un difusor cilíndrico (1.0 x 1.5 cm) y una bomba de aire. Se usaron dos bombas y cada una se adaptó para airear dos reactores.



Metodología

Adaptación del PBA al benceno.

Cada reactor fue inoculado con un litro de SSLM del PBA. Los lodos activados se dejaron sedimentar por media hora y se desechó medio litro de efluente de cada uno. Se prepararon dos disoluciones de benceno (marca Meyer, pureza 98%) usando como matriz AR: 0.1 y 0.5 ml de benceno disueltos en medio litro de AR.





Metodología

Adaptación del PBA al benceno.

Las disoluciones se vaciaron a los reactores etiquetados de la manera siguiente R1, R2 y RC. RC es el reactor control que se le agregó medio litro de agua residual sin benceno. Se comenzó la aireación y se tomaron las muestras, al inicio y posteriormente en los tiempos 0.5, 1, 1.5, 2, 4.5 y 6 h. Las muestras se tomaron con pipetas serológicas de 10 ml, se vaciaron en tubos de vidrio con tapa de rosca de baquelita y se almacenaron en refrigeración a 5°C.



Metodología

Diseño y construcción del CPC.

Diseño del CPC.

Para el diseño del CPC se obtuvo el ángulo de aceptación, el ángulo de aceptación es el ángulo en el cual el CPC concentra o colecta la radiación que llega a la superficie del colector (Ecuación 1).

$$FC = \frac{1}{\text{sen } \theta_a}$$

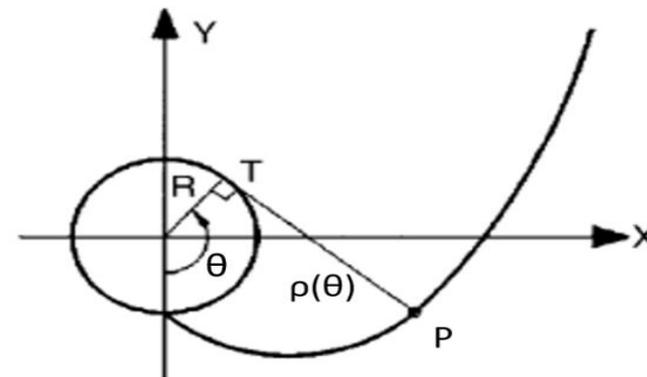
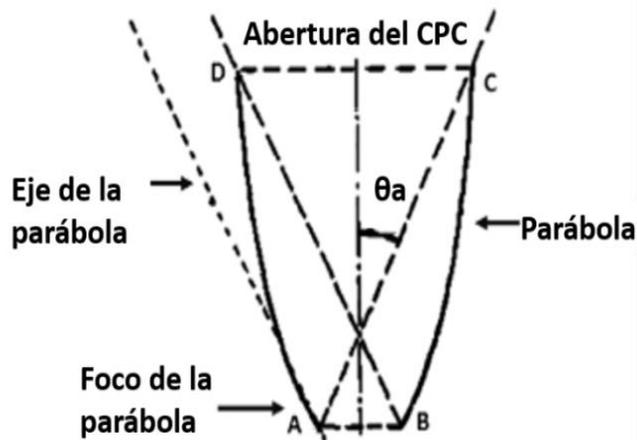
Donde FC es el Factor de Concentración que se utiliza para describir la cantidad concentrada de energía de la luz obtenido por el colector, θ_a es el ángulo de aceptación para un CPC.



Metodología

Diseño y construcción del CPC.

Diseño del CPC: el diseño de la parte parabólica y la parte involuta se muestra en la Figura 1, la distancia \overline{TP} es equivalente a $\rho(\theta)$, variable que se obtiene a partir de las Ecuaciones 2 y 3. Los grados se encuentran en radianes.





Metodología

Diseño y construcción del CPC.

Para la parte involuta:

$$\rho(\theta) = R\theta, \quad |\theta| \leq \theta_a + \pi/2 \quad (2)$$

Para la parte parabólica:

$$\rho(\theta) = R \left\{ \frac{\theta + \theta_a + \pi/2 - \cos(\theta - \theta_a)}{1 + \sin(\theta - \theta_a)} \right\}, \quad \theta_a + \pi/2 \leq \theta \leq 3\pi/2 - \theta_a \quad (3)$$



Metodología Construcción del CPC.

En la construcción del CPC se utilizarán tubos de acrílico (polimetacrilato de metilo), Los materiales señalados para el fotoreactor son el vidrio borosilicato y los fluoropolímeros por su alta transmisión de la radiación UV, sin embargo, es factible el uso de polímeros de acrílico, debido a que ha habido estudios probando tubos de acrílico como fotoreactor, el cual tiene la ventaja de ser más resistente que el vidrio y más económico.

Para la superficie reflejante se emplearán láminas de aluminio acabado espejo, las cuales se cortarán para obtener canales con la forma del perfil obtenido en el apartado anterior, con los canales obtenidos se montarán en una estructura de acero para soportarlos.



Metodología

Desarrollo del PFF para la remoción de benceno.

Diseño experimental

El diseño factorial 2^k será la metodología elegida para realizar el diseño experimental. Para este diseño se trabajaran con 2 factores y 2 niveles, establecidos a partir de la investigación bibliográfica.

Se utilizara el programa estadístico Minitab 15[®], con el cual se obtendrán las combinaciones y el orden aleatorio a realizarlas según el programa mencionado.



Metodología

Metodología del Proceso del Foto Fenton (PFF).

La matriz se utilizarán los litros por día de agua tratada (AT) obtenida del SBR estabilizado, a la cual se le adicionara benceno para obtener la concentración teórica de mg Benceno/L de AT, esta muestra se codificara como agua tratada con benceno (ATB).

Para la reacción Fenton se utilizarán $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y H_2O_2 . Se prepararan disoluciones madre de concentración 10 g Fe/l, disueltos en agua destilada, almacenados a 4°C en frasco de polietileno, de la cual se tomara la alícuota correspondiente de disolución para obtener las concentraciones necesarias de Fe^{2+} de cada nivel. Las alícuotas de H_2O_2 se tomaron directamente en base a su pureza.



Metodología

Metodología del Proceso del Foto Fenton (PFF).

En cada tratamiento se tomaran muestras para medir DQOs, pH, temperatura y color verdadero. Las muestras se filtraron a través de papel filtro cualitativo no. 1 (Whatman) para medir la DQOs y el color verdadero. El color verdadero se obtendra con base al método Platino-Cobalto descrito en el manual de operación del colorímetro DR/890. Los análisis se realizaron el mismo día.



Metodología

Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

El tratamiento con el mejor porcentaje de remoción fue el elegido para probar el sistema acoplado PBA/PFF/CPC mediante el siguiente procedimiento:

Se colectaran litros de agua residual de la PTAR del edificio de Microbiología de los cuales, se vaciaron en el SBR y se iniciara la aireación. Del agua residual restante, un litro se usara para disolver "X" ml de benceno y vaciarlo al SBR para obtener "Y" L de agua residual adicionada con benceno (ARB). Se usara la cantidad de benceno más alta con base a los resultados de la biodegradabilidad obtenido en el apartado de adaptación de benceno.



Metodología

Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

En la tabla se observaran las muestras de ARB, Efluente de tratamiento biológico (E1) y Efluente del PFF (E2) que se tomaran durante el experimento, para análisis de DBO_5 , DQOs, pH, color verdadero y benceno.

Muestra	DBO5	DQOs	pH	Color verdadero	Benceno	Muestra
ARB	M1-1	M1-2	M1-3	M1-4	M1-5	M1-6
E1	M2-1	M2-2	M2-3	M2-4	M2-5	M2-6
E2	M3-1	M3-2	M3-3	M3-4	M3-5	M3-6



Metodología

Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

Para comprobar la eficacia del sistema acoplado se usó el factor de biodegradabilidad (DBO_5/DQO), que indica la efectividad del proceso debido a que muestra la fracción de MO contenida en el AT que es susceptible de ser metabolizada por microorganismos, de acuerdo con los valores descritos en la tabla.

DBO_5/DQO	Carácter
>0.8	Muy biodegradable
$0.7 - 0.8$	Biodegradable
$0.3 - 0.7$	Poco biodegradable
<0.3	No biodegradable



Resultados

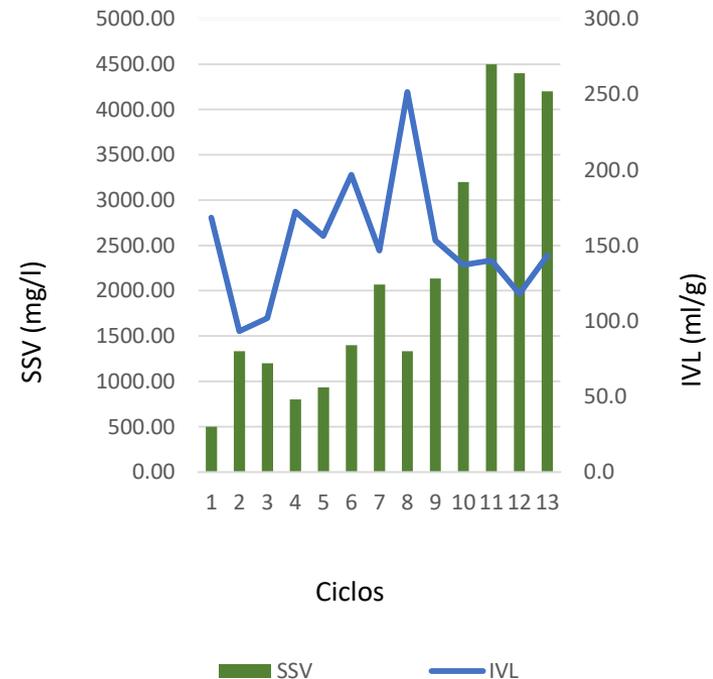
Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

Desarrollo del proceso biológico aerobio (PBA) con lodos activados para remoción de MO y benceno.

En este apartado se presentan los resultados de la estabilización del PBA, proceso necesario para la remoción de la MO y la capacidad de la población de microorganismos de biodegradar al benceno.

Estabilización del PBA.

La evolución de los Solidos Suspendidos Volatiles (SSV) y el Índice Volumetrico de Lodos (IVL) durante la degradación aerobia de la MO.





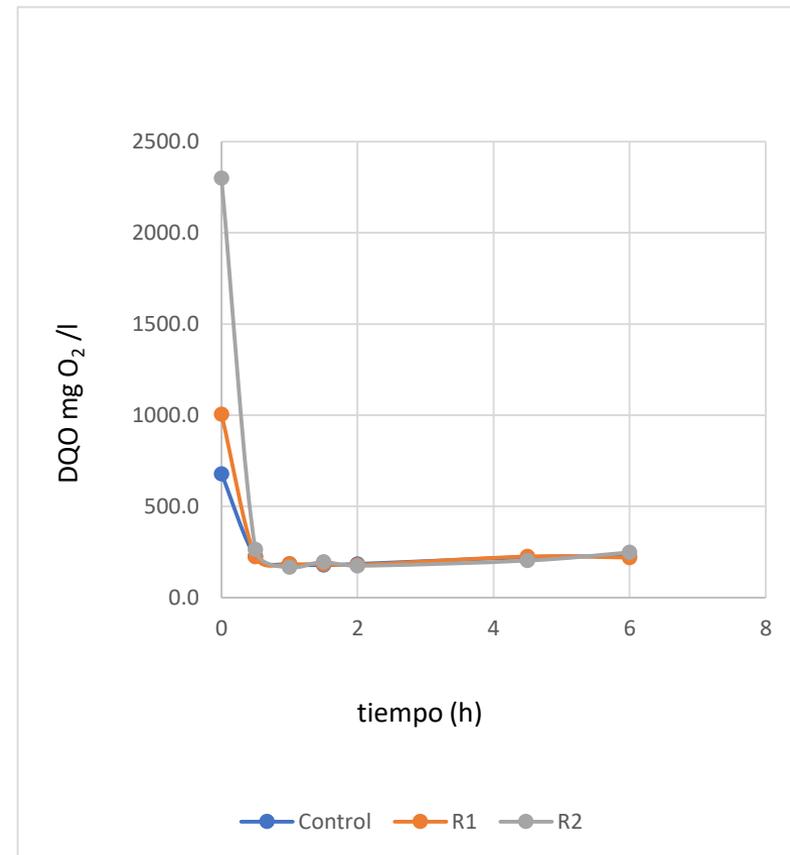
Resultados

Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

Adaptación del PBA al Benceno.

La utilización de Sustrato, cuantificado como DQO, durante la degradación de benceno y MO se muestra en la Figura .

La concentración inicial de sustrato para los reactores RC, R1 y R2 fue 678.5 mg O₂/l, 1005.5 mg O₂/l y 2300.0 mg O₂/l respectivamente. Es de especial interés observar que la utilización del sustrato empezó en los tres reactores en la primera media hora, debido a que disminuyó la DQOs, y posteriormente se mantuvo constante, en un promedio de 198.6 mg O₂/l, 198.5 mg O₂/l y 197.4 mg O₂/l respectivamente.





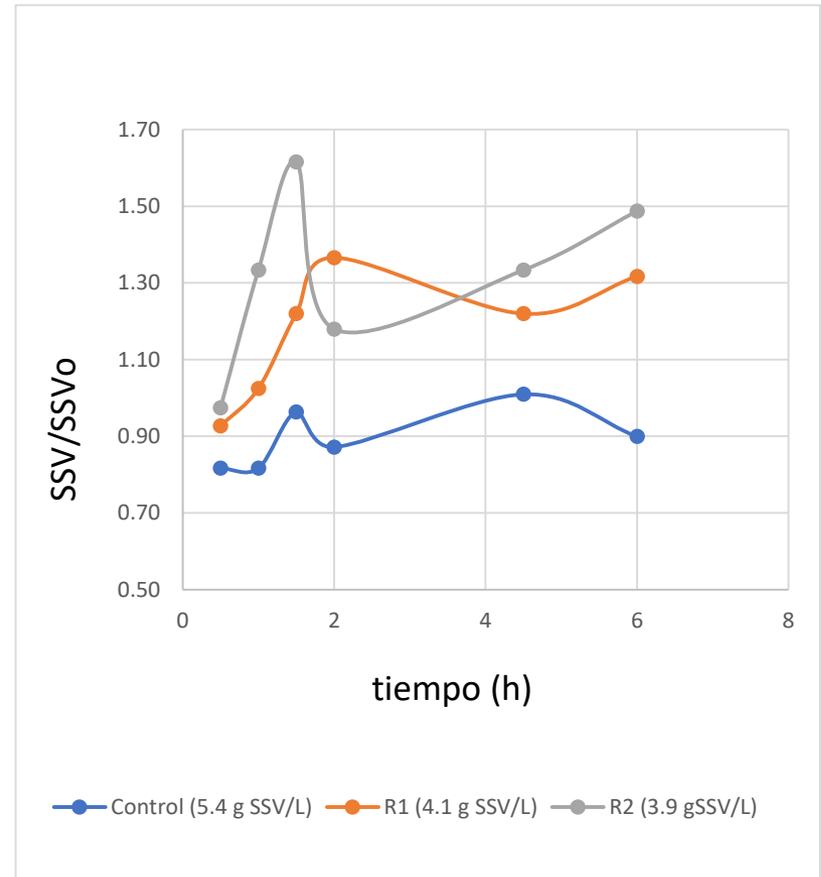
Resultados

Determinación de la eficiencia de remoción de MO y Benceno con el sistema acoplado PBA/PFF/CPC.

La evolución de los SSV indicativo de contenido de microorganismos durante la degradación aerobia del sustrato se muestra en la Figura. En cada serie se muestran los valores iniciales de SSV en cada reactor.

La concentración final de SSV para los reactores R1 y R2 fue de 5400 mg/l y 5800 mg/l respectivamente.

En cuanto al reactor control RC, se observó la fase de adaptación en la primera hora, La concentración final de SSV fue de 4900 mg/l.





Resultados

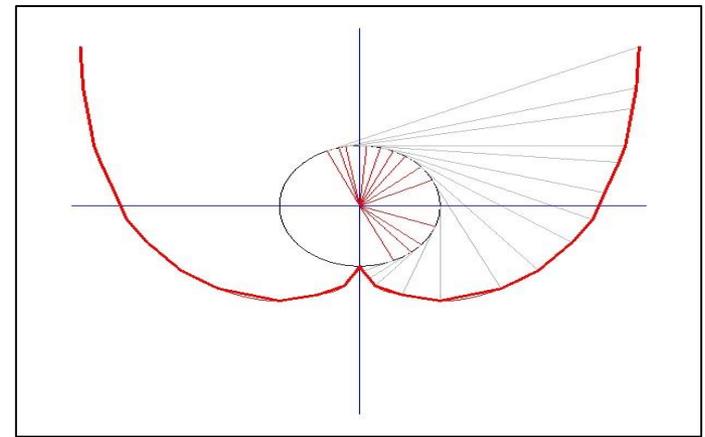
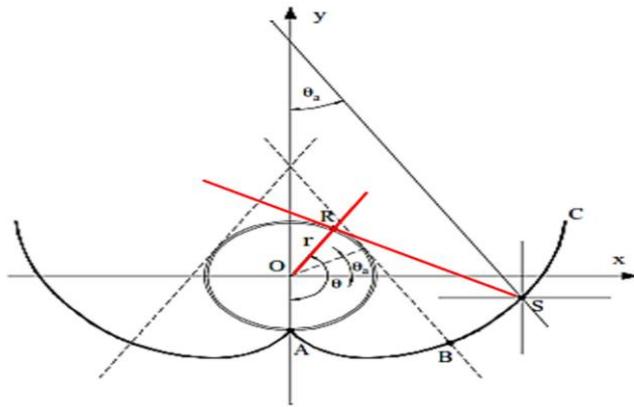
Diseño y construcción del CPC.

Diseño y construcción del CPC.

Se presenta en este apartado el perfil obtenido del CPC y la posterior construcción de los canales.

Diseño del CPC.

En la Figura 6. Se muestran las variables que se obtienen al emplear las Ecuaciones 1, 2, y 3, resultando ρ como la distancia \overline{RS} para obtener el punto reflector genérico S.

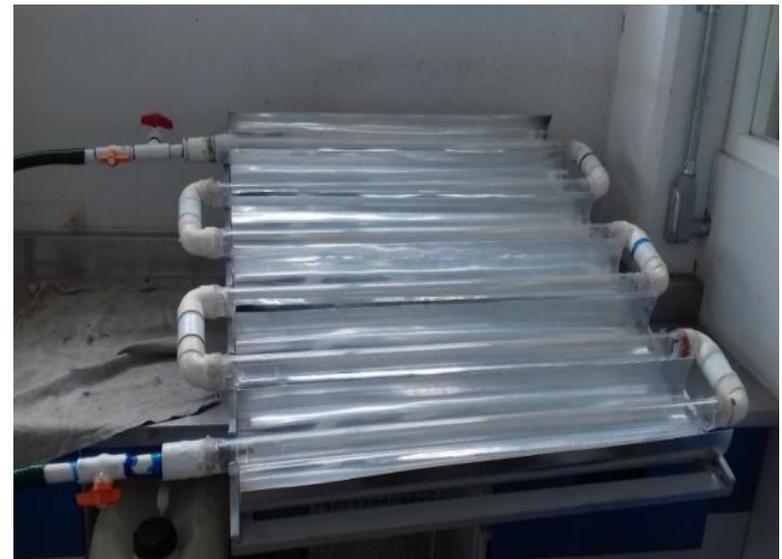




Resultados

Construcción del CPC.

El reactor CPC construido constó de 6 canales de aluminio, (130 mm de apertura, 80 mm de alto, 800 mm de largo) montados sobre un soporte de acero, inclinado a 20° correspondiente a la latitud en la cual se encuentra la ciudad de Querétaro, Qro.





Resultados

Desarrollo del PFF para la remoción de benceno.

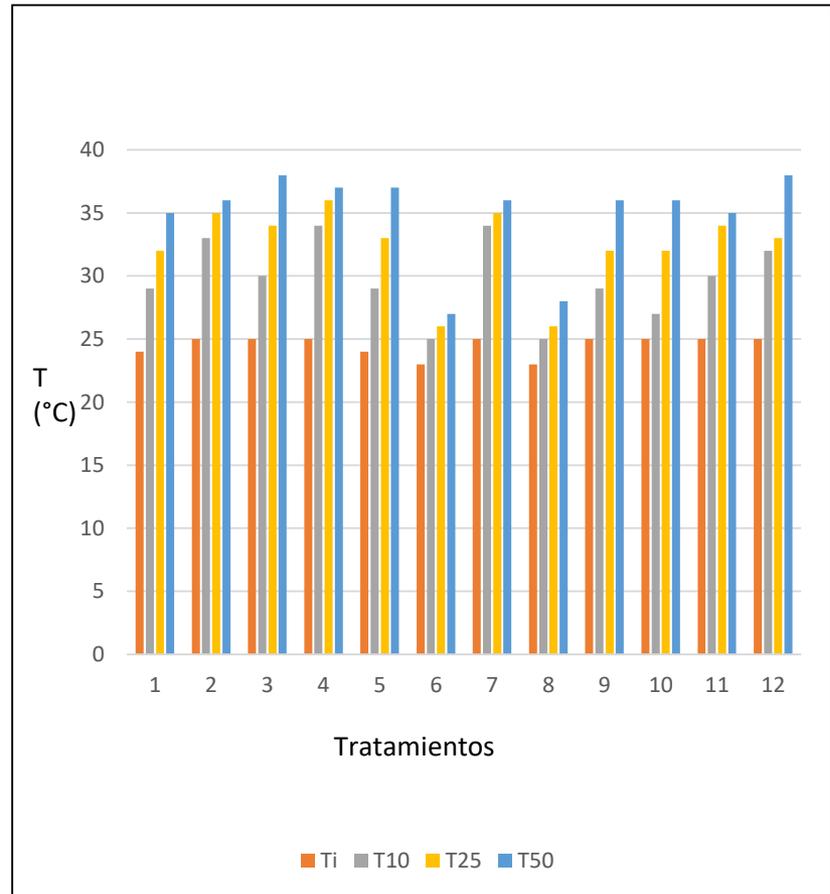
Se realizaron los tratamientos aleatorios de PFF para obtener el que tenga una remoción más alta de benceno medido como DQOs y posteriormente utilizarlo en el proceso acoplado.



Resultados Diseño Experimental

Los tratamientos se realizaron durante 12 días en el mes de agosto entre 13:00 – 15:00 hrs. Se definió como tiempo de reacción 50 minutos de acuerdo con bibliografía. Sin embargo, para corroborar la disminución en la concentración de MO y Benceno medidos como DQOs en tiempos más cortos, se realizaron mediciones a los 10 y 25 minutos. No se modificó el pH. Las mediciones de pH al inicio y al final de los tratamientos resultaron en promedio de 7.5 y 7.6 unidades respectivamente.

Por otro lado, la evolución de la temperatura del agua durante los tratamientos se muestra en la Figura.





Resultados Diseño Experimental

Se estima que el fotoreactor tiene capacidad para adsorber temperaturas de alrededor 60-70°C. Al respecto, la temperatura del agua aumentó conforme se incrementó el tiempo, pero no sobrepasó los 40°C, esto se debe a la temporada en que se realizaron los experimentos. Sin embargo, como se puede observar en la tabla, donde se muestra los resultados de % Remoción, el pH o la temperatura no fueron un factor determinante en la disminución de la concentración, debido a que, en promedio, en todos se observó una remoción.

Orden Corrida	Fe(II) mmol/l	H2O2 mg/l	DQOi mg O ₂ /l	DQOf mg O ₂ /l	% Remoción DQO
1	0.5	50	539.3	266.0	50.7*
2	0.09	50	481.3	281.6	41.5*
3	0.5	3	468.6	219.6	53.1*
4	0.5	3	470.6	271.0	42.4
5	0.5	3	455.6	270.6	40.6
6	0.09	3	461.6	294.6	36.2
7	0.09	50	481.6	311.6	35.3*
8	0.09	3	469.3	260.6	44.5
9	0.09	3	510.3	301.3	41.0*
10	0.09	50	416.0	266.0	36.0
11	0.5	50	593.3	238.6	59.8*
12	0.5	50	467.3	190.6	59.5



Resultados

Diseño y construcción del CPC.

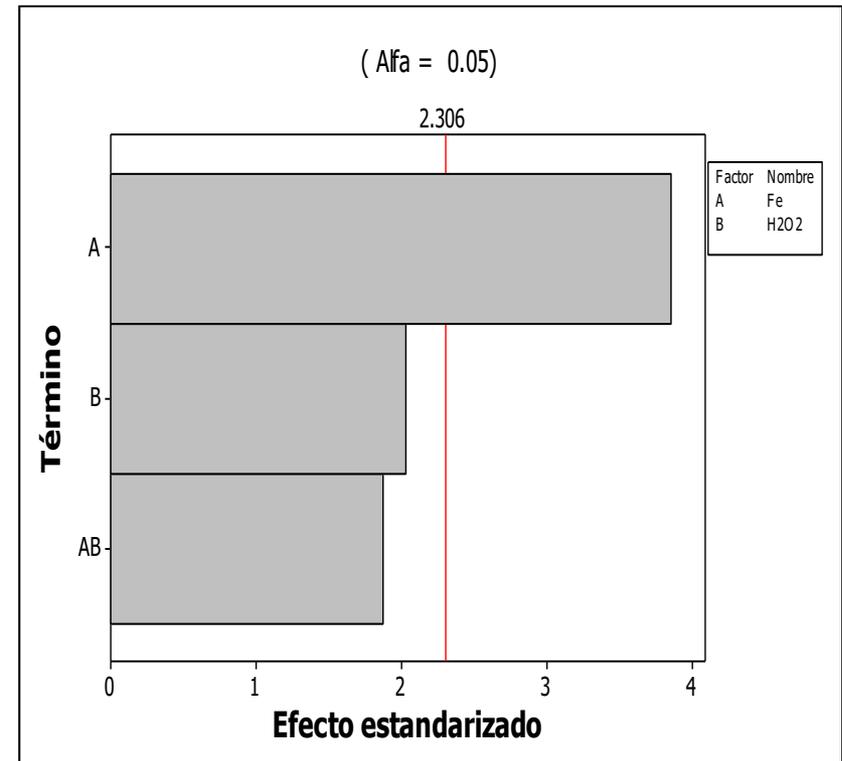
Los resultados de la cinética indicaron que la mayor remoción se obtuvo a los 50 minutos y son los que se analizaron con el programa estadístico. Se observa también que los porcentajes de remoción más altos son 50.7%, 59.8% y 59.5%, los cuales concuerdan en que son el triplicado para un mismo tratamiento, esto es similar a lo obtenido de otros autores, donde se ha trabajado con 50 mg/l de H_2O_2 en períodos de tiempo entre 30 y 60 minutos.



Resultados Diseño Experimental

Los resultados del programa estadístico Minitab se muestran a continuación, empezando con la gráfica de Pareto de efectos estandarizados, en la cual se observa la magnitud y la importancia de los efectos, en este caso, Fe^{2+} y H_2O_2 .

El Fe^{2+} es el factor que tiene el mayor efecto en el proceso y se corrobora con la gráfica normal de efectos estandarizados, en donde la posición del factor Fe^{2+} , alejado de 0 y valor alto, indica que el efecto es positivo, provoca un aumento en la respuesta, el porcentaje de remoción.

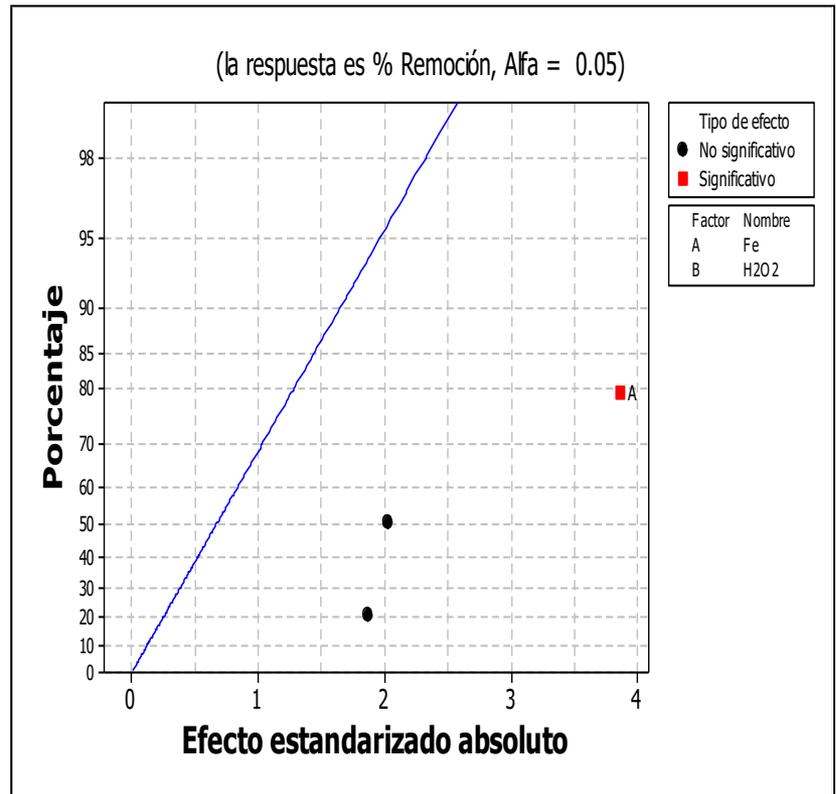




Resultados Diseño Experimental

El Fe^{2+} es el factor que tiene el mayor efecto en el proceso y se corrobora con la gráfica normal de efectos estandarizados (Figura 11), en donde la posición del factor Fe^{2+} , alejado de 0 y valor alto, indica que el efecto es positivo, provoca un aumento en la respuesta, el porcentaje de remoción.

En la gráfica de efectos principales se observa la media del porcentaje de remoción para las medias de cada factor en cada nivel. La pendiente de cada línea indica el grado de efecto que existe entre los niveles, si la línea es horizontal, paralela al eje X no hay efecto principal, por lo tanto, existe un efecto más importante en la concentración de Fe^{2+} comparado con el H_2O_2

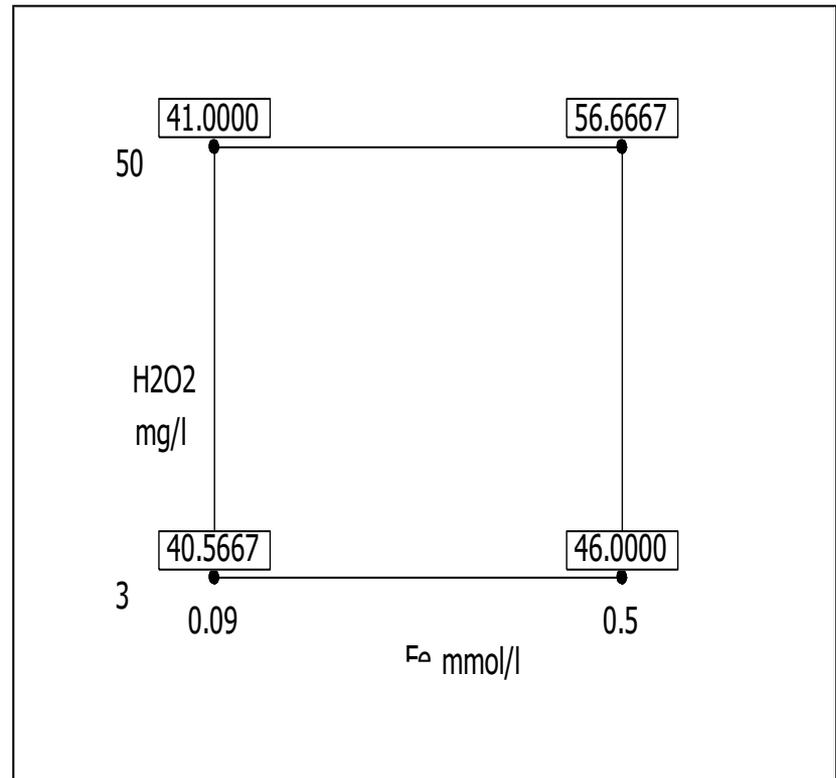




Resultados Diseño Experimental

En la figura. Se muestra la gráfica de cubos, donde se observa la media de los datos para porcentaje de remoción de los factores relacionados entre sí.

El mayor porcentaje se obtuvo con el tratamiento de Fe^{2+} 0.5 mmol/l y H_2O_2 50 mg/l, con una remoción de 56.66 % del agua tratada adicionada con benceno cuantificada como DQOs. Los valores reportados en la bibliografía concuerdan para la concentración de H_2O_2 , respecto al ion Fe^{2+} a pH neutros, se han trabajado con concentraciones menores o mayores a 0.5 mmol/L.





Resultados

Determinación de la eficiencia de remoción de benceno y MO del agua con el sistema PBA/PFF/CPC.

En la tabla se muestran los resultados obtenidos de la prueba del sistema acoplado:

Muestra	¹ DBO ₅ mg/l	² DQO mgO ₂ /l	² pH	² Color verdadero U Pt-Co	¹ Benceno µg/l
ARB	306.80	2365	8.3	725.0	280 984.360
E1	139.50	658	8.4	847.5	52 254.370
E2	129.600	318	8.4	220.0	30 915.610



Resultados

Determinación de la eficiencia de remoción de benceno y MO del agua con el sistema PBA/PFF/CPC.

Se logró una remoción significativa del benceno después del PBA, de 81.403%, comparado contra el obtenido por el foto Fenton, en relación con E1 y E2 de 40.837%. La remoción de MO como DBO_5 en el PBA fue de 54.531%, y del foto Fenton (E1 contra E2) fue de 42.3%.

En la tabla se muestran los resultados de %R para cada sistema.

Por lo tanto, si se observa que incrementó la remoción de los contaminantes MO y benceno. Sin embargo, de acuerdo con el factor de biodegradabilidad DBO_5/DQO .

	DBO_5/DQO	Carácter
ARB	0.129	No biodegradable
E1	0.212	No biodegradable
E2	0.407	Poco biodegradable



Resultados

Determinación de la eficiencia de remoción de benceno y MO del agua con el sistema PBA/PFF/CPC.

El sistema acoplado puede producir agua tratada poco biodegradable, resultado cercano al de 0.5, valor obtenido en un pretratamiento usando foto Fenton para remoción de benceno, en 60 min de reacción. Sin embargo, se debe señalar que el día que se realizó la prueba se inició con una radiación luminosa de 161.7 W/m^2 , pero a los 25 minutos decayó a 32.2 W/m^2 , terminando en 28.56 W/m^2 a los 50 minutos que duró el tratamiento, situación que provocaría una pobre eficiencia en la generación del radical OH.

El espectro de UV solar no tiene variación esencialmente en un sitio específico durante todo el año, sin embargo, las nubes modifican la energía UV total que alcanza la superficie de la Tierra, aunque la distribución de la longitud de onda no se ve afectada. Es necesario conocer el promedio anual de radiación UV que incide sobre la región, para poder predecir la cantidad de energía que alcanza a esa superficie en específico.



Conclusiones

Estabilización del PBA

Hubo el crecimiento de los microorganismos, el cual se identifica en función del aumento en la concentración de SSV, los microorganismos utilizaron el sustrato como alimento para crear nuevas células. Así mismo, la disminución en el IVL mostró que la población de microorganismos presente en el licor mixto fue adecuada para favorecer la sedimentación del lodo y para la obtención de un efluente sin flóculos.



Conclusiones

Adaptación del PBA al Benceno.

La concentración cuantificada como DQOs aumentó en función de la cantidad de benceno que se le adicionó al agua residual a tratar. Es de especial interés observar que la utilización del sustrato empezó en los tres reactores en la primera media hora, debido a que disminuyó la DQOs, y posteriormente se mantuvo constante, en un promedio de 198.6 mg O₂/l, 198.5 mg O₂/l y 197.4 mg O₂/l respectivamente.

En los reactores R1 y R2 se observó que la cantidad de SSV aumentó en las primeras dos horas, lo cual indica que los microorganismos utilizaron el sustrato en exceso para crecimiento. Posteriormente, empezaron la fase estacionaria.

Por lo tanto, la cantidad inicial de SSV es un factor determinante para la utilización de sustrato y posterior crecimiento de los microorganismos, no se observó una inhibición del crecimiento de los microorganismos que conforman al lodo activado del SBR al utilizar benceno como sustrato.

En esta prueba se esperó que no se presentara inhibición de crecimiento por toxicidad al aumentar la concentración de benceno y los SSVLM continuarán en el rango adecuado de 2000-5000 mg/l.

En cuanto al reactor control RC, se observó la fase de adaptación en la primera hora, posteriormente empezó la fase de crecimiento exponencial que sólo continuó alrededor de media hora. Al final de la cinética se alcanzó a observar la fase de respiración endógena. La concentración final de SSV fue de 4900 mg/l.



Conclusiones

Diseño experimental

En base a la teoría, la concentración de Fe^{2+} dirige la reacción en el proceso homogéneo Fenton, sin embargo, las aguas residuales tratadas contienen diversos aniones que reaccionan con el Fe, tales como fosfatos, carbonatos, cloruros, generando menos especies oxidantes, al ser el Fe el catalizador en la reacción (como Fe^{2+}) y ser fotorreducido (Fe^{3+}) para continuar con el ciclo, es necesario que se encuentre en concentración necesaria para poder producir el PAO, en este caso, 0.5 mmol/L.

Sin embargo, el exceso de Fe afecta la calidad visual del agua tratada, debido a que a pH neutro también el Fe^{2+} precipita como hidróxido. El color verdadero se midió en el tratamiento Fe/ H_2O_2 0.5 mmol/l - 50 mg/l, donde se obtuvo una remoción del 40%, no obstante, como color aparente, el agua tratada se observa más turbia.



Conclusiones

Se logró estabilizar un reactor biológico aerobio de lodos activados en modalidad SBR. El sistema PFF/CPC es factible y mostró eficiencia en la disminución de la concentración del benceno.

Se consiguió una mejora con el sistema PBA/PFF/CPC en la remoción de benceno y MO contenidos en agua residual comparado con el obtenido por el sistema PBA.

El Fe^{2+} es un factor importante en el PFF a pH neutro en aguas residuales, y se requiere a una concentración mayor que la utilizada a pH ácido, por lo tanto, se propone el uso de un agente quelante como el ácido etilendiamino-N, N'-disuccínico (EDDS) para mantenerlo disuelto y no generar lodos, o la realización de un proceso heterogéneo en el cual el Fe^{2+} se encuentre fijo en un soporte reutilizándose el fotocatalizador.



Conclusiones

La existencia de contaminantes emergentes en el ambiente es un hecho que no puede ser ignorado debido a los efectos adversos que presentan sobre el ser humano y el resto de seres vivos. Es por ello que se requiere de su continua monitorización, regulación y eliminación de los cuerpos de agua.

Como se ha visto, existen evidencias que demuestran que los sistemas convencionales de tratamiento biológico en la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes de los sistemas acuáticos es insuficiente. De modo que se hace necesaria la aplicación de técnicas eficientes en la eliminación de estas sustancias, tales como los POA.

La aplicación de estas alternativas permite obtener resultados satisfactorios en la remoción de contaminantes orgánicos. Sin embargo, cada una de ellas presenta inconvenientes asociados. En el caso de los POA, a pesar de que algunos de ellos son capaces de aprovechar la radiación solar, suelen ser tecnologías bastante costosas y en ocasiones generan subproductos más persistentes y tóxicos que los compuestos originales.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)