

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA FENTON SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA MOSCAFRUT

Rosario Mayorga Santis¹
Elizabeth Hilerio Rodríguez¹
María de Jesús Rodríguez León¹
Nery del Carmen Rodiles Cruz²
José Alfredo León Hernández¹
*Rubén Fernando Gutiérrez Hernández¹

*EVALUATION OF FENTON SYSTEM EFFICIENCY ON THE
WASTEWATER OF MOSCAFRUT PLANT*

Recibido el 2 de septiembre de 2013; Aceptado el 14 de mayo de 2014

Abstract

The industrial sector in recent years has expanded and developed rapidly which has led to a proportional growth of wastewater. Given the importance of search management strategies for these waters, this work was evaluated at laboratory scale application of an advanced chemical oxidation treatment "Fenton System" Waste Water Plant Breeding and Sterilization of Flies Fruit and parasitoids (MOSCAFRUT). The waters were treated separately as water and process service, and the mixture of both, developing tests with different concentrations of hydrogen peroxide and ferrous sulfate. Preliminary results and process water mixture were analyzed by two-factor under 3×3 , service water, because they presented removal efficiencies of 100%, it was necessary to apply the fix. Optimal concentrations and treatment for waters were mixed 29498 ppm H₂O₂, FeSO₄ 6000 ppm, and 23598 ppm H₂O₂, FeSO₄ 6000 ppm, for service water, with a reaction time of 90 minutes. The physicochemical properties were assessed before and after treatment, where removal efficiencies were obtained from 90 to 100% for COD, 90% for total suspended solids, 73% for biochemical oxygen demand (BOD₅), 68% for total nitrogen, 74% to 87% and total phosphorus to fats. Microbiological analysis performed post treatment to water indicated the presence of microorganisms is zero.

Key words: Advanced Oxidation Process, Organic Matter, Wastewater.

¹ Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Tapachula, México.

² Planta de Cría y Esterilización de Moscas de la Fruta y Parasitoides, Planta Moscafrut, Chiapas, México.

*Autor correspondiente: Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Tapachula. Km. 2 Carretera a Puerto Madero, Tapachula, Chiapas. CP 30700. México. rgutierrez@ittapachula.edu.mx

Resumen

El sector industrial, durante los últimos años, se ha expandido y desarrollado aceleradamente lo que ha provocado un crecimiento proporcional de las aguas residuales. Dada la importancia que tiene buscar estrategias de tratamiento para estas aguas, en este trabajo se evaluó a nivel laboratorio la aplicación de un sistema avanzado de tratamiento químico de oxidación sobre las aguas residuales de la Planta de Cría y Esterilización de Moscas de la Fruta y Parasitoides (MOSCAFRUT). Las aguas fueron tratadas por separado como aguas de servicios y de proceso, así como la mezcla de ambas, desarrollando ensayos con diferentes concentraciones de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso. Los resultados preliminares de aguas de proceso y mezcla se analizaron mediante un arreglo bifactorial 3*3, en las aguas de servicio, debido a que presentaron eficiencias de remoción del 100%, no fue necesario aplicar dicho arreglo. Las concentraciones óptimas del tratamiento para aguas y mezcla fueron 29498 ppm H₂O₂, 6000 ppm FeSO₄, y con 23598 ppm H₂O₂, 6000 ppm FeSO₄, para aguas de servicio, con un tiempo de reacción de 90 minutos. Las propiedades fisicoquímicas fueron evaluadas antes y después del tratamiento, en donde se obtuvieron eficiencias de remoción del 90 al 100% para DQO, 90% para sólidos suspendidos totales, 73% para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), 68% para nitrógeno total, 74% para fósforo total y 87% para grasas. Los análisis microbiológicos realizados a las aguas post tratamiento indicaron que la presencia de microorganismos es nula.

Palabras claves: Aguas Residuales, Materia Orgánica, Procesos Avanzados de Oxidación.

Introducción

En la actualidad existe una creciente preocupación por la protección del medio ambiente y los recursos naturales, en especial, por las regulaciones de la calidad de las aguas tratadas que son vertidas a los ríos. Esta realidad ha llevado a industrias, organizaciones e incluso gobiernos, a buscar alternativas para hacer un uso más eficiente del recurso hídrico (Naranjo, 2011). Los efluentes acuosos provenientes de una gran variedad de industrias químicas, contienen compuestos orgánicos que son tóxicos y peligrosos tanto para su descarga al medio ambiente como para su almacenamiento. En muchos casos estos efluentes son refractarios al tratamiento biológico convencional, por lo que la biodegradación del efluente como tratamiento exclusivo no constituye una alternativa eficaz (Blanco, 2009).

Debido a que no toda el agua residual generada recibe algún tipo de tratamiento antes de su descarga, es necesario buscar alternativas para dar solución a esta problemática. En el caso de los desechos colectados en las aguas residuales de las distintas actividades de la industria, se tiene una respuesta adecuada de saneamiento a través de procesos de depuración físicos, químicos y biológicos. Para los procesos biológicos aeróbicos, las normativas ambientales son más exigentes cada día y algunos de estos procesos son insuficientes, bien por la alta concentración de los contaminantes o por la resistencia de algunos compuestos. En estos casos hay que recurrir a métodos químicos que permitan por su severidad la destrucción completa del contaminante, transformándolos en compuestos finales inofensivos al ambiente o de un impacto menor.

El proceso Fenton constituye una solución para el tratamiento de efluentes industriales eliminando compuestos orgánicos por medio de radicales hidroxilo (Muñoz, 2011). En este tipo de sistemas, los radicales oxhidrilos generados, oxidan una amplia gama de moléculas orgánicas, conduciendo en muchos casos a la mineralización del contaminante, en forma de CO₂, H₂O e iones inorgánicos (Nichela, 2012). En el trabajo presentado por Taco y Mayorga (2013), se empleó el proceso Fenton para la remoción de la materia orgánica en aguas residuales provenientes de la industria termoeléctrica que usa como combustible fuel oil. El proceso de degradación se siguió a través de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), donde se consiguió una remoción entre el 72.51 y 88.60%.

También se ha reportado que el sistema Fenton es efectivo en el tratamiento de aguas que contienen ingredientes activos de pesticidas y formulaciones comerciales, en el cual se obtiene la destrucción de dichos contaminantes orgánicos hasta en más de un 90%, en la mayoría de los casos en menos de 30 minutos (Chuc, 2009; Colina, *et al.*, 2009). En recientes estudios se comprobó la eficiencia del sistema Fenton en la degradación de agentes contaminantes orgánicos persistentes, dichos compuestos tienen una amplia distribución en aguas subterráneas y suelos y plantea un peligro serio para la salud ya que son liberados al ambiente en la producción industrial de muchas sustancias químicas. El tratamiento de esas moléculas se dio bajo condiciones convencionales propias del sistema Fenton dando resultados considerables en la reducción de contaminantes (Carra, 2011).

Las aguas residuales que se generan en la Planta de Cría y Esterilización de Moscas de la Fruta y Parasitoides (MOSCAFRUT) provienen de los procesos de producción y son sometidas a un sistema de tratamiento biológico secundario de lodos activados, el cual presenta una alta eficiencia de remoción de la carga orgánica (entre 85 y 90%), sin embargo no permite la completa eliminación de color y turbidez, además, requiere de largo tiempo de retención, presenta arranques lentos y son susceptibles a sobrecargas y pérdidas de eficiencia. Es por ello que en el presente se evaluó a nivel laboratorio la aplicación de un sistema avanzado de tratamiento químico de oxidación sobre las aguas residuales de la Planta de Cría y Esterilización de Moscas de la Fruta y Parasitoides (MOSCAFRUT).

Metodología

Las muestras de aguas residuales fueron colectadas del canal de descarga a los tanques de tratamiento las cuales pasan previamente por un sistema de cribado en donde quedan atrapadas las partículas de mayor tamaño. Con base a una revisión de literatura, se realizaron ensayos preliminares para establecer los rangos de concentración de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso, tomando en consideración la carga orgánica de las aguas de proceso, servicio y la mezcla de ambas. Para el desarrollo de los ensayos se tomaron muestras de agua de proceso, servicio y la mezcla de ambas en una proporción 50:50. Se trabajó con volúmenes de 50 mL de

cada una y se probaron concentraciones desde 4000 hasta 9000 ppm de FeSO_4 y desde 5899 hasta 35397 ppm de H_2O_2 . En estos ensayos se observó que las muestras presentaron una mayor eficiencia de remoción entre 6000 y 9000 ppm de FeSO_4 y de 23598 a 35397 ppm de H_2O_2 (al 30%). Los resultados se analizaron mediante un arreglo bifactorial de 3×3 para aguas de proceso y mezcla, con el fin de determinar las concentraciones óptimas del tratamiento químico.

En el caso de las aguas de servicio, los resultados de los ensayos preliminares presentaron un 100% de remoción de materia orgánica, por lo que no fue necesario analizarlas mediante dicho arreglo. Se trabajó con tres concentraciones de FeSO_4 (6000, 8000 y 9000 ppm) y de H_2O_2 (23598, 29498 y 35397 ppm), respectivamente. Con estas concentraciones se llevaron a cabo cinco repeticiones para cada uno de los tratamientos ensayados, durante un periodo de dos meses. También fue necesario ajustar el pH a 3 de las tres muestras en estudio con ácido sulfúrico (9 M), para el desarrollo óptimo de la reacción Fenton. Se llevó a cabo con tiempo de reacción de 90 minutos, siguiendo el progreso de la misma midiendo las concentraciones de la DQO como parámetro para determinar la eficiencia de la reacción.

Resultados

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las pruebas realizadas tanto para agua de proceso, como de servicio y la mezcla de ambas.

Agua de proceso

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 1, la mayor eficiencia de remoción de la DQO (95.7%) en la muestra de agua de proceso, se obtuvo con 29498 ppm H_2O_2 y 6000 ppm FeSO_4 .

Tabla 1. Eficiencia de remoción de DQO con el sistema Fenton en aguas de proceso

H_2O_2 (ppm)	FeSO_4 (ppm)		
	6000	8000	9000
23598	66.42	86.96	95.53
29498	95.7	89.36	83.42
35397	71.62	81.89	67.47

Los resultados presentados permiten establecer que la reacción Fenton es efectiva y confiable ya que con la aplicación de esta se obtuvieron altas eficiencias de remoción en los parámetros determinados, tales como DQO (95.7%), coliformes fecales (100%) y turbidez (100%) los cuales pueden observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas de proceso

Parámetro	Unidades	Concentración Inicial	Concentración final	Límites Permisible NOM-001	Eficiencia de Remoción (%)
N*	ppm	6.8	1.2	40	82.35
P*	ppm	93.77	41.88	20	55.33
DBO*	ppm	28.00	1.55	150	94.46
DQO*	ppm	1098.39	52.35	150	95.70
G YA*	ppm	69.30	6.00	15	91.34
SST*	ppm	22.00	2.00	150	90.90
SS*	ppm	4.00	0.00	1	100.00
Turbidez	U*	23.00	0.00	NS*	100.00
pH	U*	4.11	9.03	5-9	-
Coliformes Fecales	NMP*	150	0.00	1000	100.00

*N=nitrógeno, P=fosforo, DBO=demanda bioquímica de oxígeno, G y A=grasas y aceites, SST=sólidos suspendidos totales, SS=sólidos solubles, pH=potencial de hidrogeno NMP=número 151 más probable, U= unidades nefelométricas y NR= no reportadas

Agua de servicio

La Tabla 3 muestra que el 100% de remoción de DQO en las aguas residuales de servicios se logró con dos concentraciones diferentes de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso (23596 ppm H₂O₂ y 6000 ppm FeSO₄) y (29498 ppm H₂O₂ y 9000 ppm FeSO₄). Con base a estos resultados se sugiere que en trabajos posteriores se utilicen las concentraciones menores (23596 ppm H₂O₂ y 6000 ppm FeSO₄), con la finalidad de optimizar los costos de reactivos.

Tabla 3. Eficiencia de remoción de DQO con el sistema Fenton en aguas de servicio

H ₂ O ₂ (ppm)	FeSO ₄ (ppm)		
	6000	8000	9000
23598	100	99.81	64.22
29498	98.13	86.03	100
35397	83.61	93.84	85.23

De los datos presentados en la Tabla 4 puede observarse que el sistema Fenton fue capaz de reducir más del 60% las concentraciones de Nitrógeno y Fosforo (N y P), mientras que los demás parámetros los redujo del 90 al 100% (DQO, DBO, Grasas, SST, turbidez y coliformes).

Tabla 4. Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas de servicio

Parámetro	Unidades	Concentración Inicial	Concentración Final	Límites Permisible NOM-001	Eficiencia de Remoción (%)
N*	ppm	2.5	0.78	40	68.81
P*	ppm	76.89	27.29	20	64.50
DBO*	ppm	29.00	1.54	150	94.68
DQO*	ppm	893.12	0.00	150	100.00
G YA*	ppm	56.00	3.30	15	94.10
SST*	ppm	18.00	2.00	150	88.88
SS*	ppm	2.00	0.00	1	100.00
Turbidez	U*	3.00	0.00	NS*	100.00
pH	U*	5.77	9.00	5-9	-
Coliformes Fecales	NMP*	240	0.00	1000	100.00

*N=nitrógeno, P=fosforo, DBO=demanda bioquímica de oxígeno, G y A=grasas y aceites, SST=sólidos suspendidos totales, SS=sólidos solubles, pH=potencial de hidrogeno NMP=número 151 más probable, U= unidades nefelométricas y NR= no reportadas

Agua de mezcla

Al igual que las muestras anteriores, la eficiencia de degradación en la DQO es menor a medida que la concentración de peróxido de hidrogeno aumenta. La concentración óptima para el tratamiento de las aguas de mezcla fue de 29438 ppm H₂O₂ y 6000 ppm FeSO₄, en donde se obtuvo la mayor eficiencia de remoción de DQO (97.23%).

Tabla 5. Eficiencia de remoción de DQO con el sistema Fenton en aguas de mezcla

H ₂ O ₂ (ppm)	FeSO ₄ (ppm)		
	6000	8000	9000
23598	78.08	96.20	90.97
29498	97.23	91.87	93.33
35397	86.08	70.33	65.56

En la Tabla 6 puede observarse la eficiencia de remoción que se logró con el sistema Fenton sobre los parámetros determinados en la mezcla. Esto se reflejó principalmente en la disminución de la concentración de la materia orgánica en un 94.11% en promedio.

Los resultados permiten observar que en el tratamiento del agua del proceso, de servicio y de la mezcla de ambas, la mayor remoción se logró con la concentración media de peróxido de hidrógeno. Esto puede ser atribuido a la existencia de reacciones colaterales que compiten por el radical libre OH (ecuaciones 1-4). En estas ecuaciones se puede ver que un exceso de peróxido de hidrógeno puede resultar en un efecto adverso sobre la eficiencia de degradación.

Tabla 6. Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en aguas de mezcla

Parámetro	Unidades	Concentración inicial	Concentración Final	Límites Permisible NOM-001	Eficiencia de Remoción (%)
N*	ppm	7.5	1.79	40	76.13
P*	ppm	95.02	24.58	20	74.13
DBO*	ppm	27.00	1.59	150	94.11
DQO*	ppm	929.13	53.18	150	97.23
G YA*	ppm	78.00	7.30	15	90.64
SST*	ppm	24.00	2.00	150	91.66
SS*	ppm	2.00	0.00	1	100.00
Turbidez	U*	6.00	0.00	NS*	100.00
pH	U*	4.33	9.10	5-9	-
Coliformes Fecales	NMP*	2.00	0.00	1000	100.00

*N=nitrógeno, P=fosforo, DBO=demanda bioquímica de oxígeno, G y A=grasas y aceites, SST=sólidos suspendidos totales, SS=sólidos solubles, pH=potencial de hidrogeno NMP=número 151 más probable, U= unidades nefelométricas y NR= no reportadas



Por otro lado, el mayor porcentaje de remoción de la DQO se logró cuando el tratamiento de los tres tipos de efluentes se desarrolló con la concentración más baja de Fe^{2+} , esto también puede ser explicado por la existencia de reacciones colaterales que involucran a las especies de hierro y que también compiten por el radical libre OH (ecuaciones 1, 5-6).



Conclusiones

La aplicación y evaluación, a nivel laboratorio de la eficiencia del sistema Fenton para el tratamiento de las aguas residuales de la Planta de Cría y Esterilización de Moscas de la Fruta y Parasitoides (Planta Moscafrut), permitió comprobar que el sistema es efectivo ya que se logró una remoción de la materia orgánica medida en DQO del 95 al 100%. El olor característico del agua residual es eliminado en los primeros cinco minutos de reacción y el color se elimina después del tiempo de reacción precipitando los sólidos disueltos y suspendidos.

Referencias bibliográficas

- Blanco, J. (2009) *Degradación de un efluente real textil mediante procesos Fenton y Foto-Fenton*. Tesis de master no publicada, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Carra, I. (2011) *Estudio de la degradación de paracetamol mediante Foto-Fenton a pH natural*. Tesis de master no publicada, Universidad de Almería, España.
- Chica, O., Galvis, N., Madrid, J. (2007) Recopilación de experiencias con Foto Fenton en el tratamiento de aguas. Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
- Chuc N. (2009) Reducción de la carga orgánica en el agua residual en una planta industrial mediante la aplicación de la reacción de Fenton. *Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad Veracruzana, Mexico*.
- Colina, J., Machuca, F., Li Puma, G. (2009). Photocatalytic Mineralization of Commercial Herbicides in a Pilot Scale Solar CPC Reactor: Photoreactor Modeling and Reaction Kinetics Constants Independent of Radiation Field, *environ, Sci. Technol*, **43**, 8953-8960.
- Muñoz, A. (2011) Proceso Fenton y foto-Fenton para la remoción de fenoles de efluentes generados en una planta de celulosa kraft. *Tesis de Maestría, Programa de Maestría Profesional en Tecnología de Celulosa y de Papel, Universidad Federal de Viçosa, Brasil*.
- Naranjo, F. (2011) Alternativas ecológicas para el manejo de aguas residuales. *Éxito empresarial*, **152**,1-3.
- Nichela, D. (2012) Estudio del mecanismo y la cinética de degradación de contaminantes aromáticos empleando reacciones tipo Fenton, Electro-Fenton y Foto-Fenton. *Tesis de Doctorado, Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina*.
- NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Diario Oficial de la Federación, México. Pp. 68-87.
- Taco, M., Mayorga, E. (2013) Aplicación del proceso Fenton en la disminución de materia orgánica en aguas residuales de la industria termoeléctrica, *Química central*, **3**(1), 25-30.