

# Tratamiento de aguas residuales hospitalarias mediante el proceso Fenton

Macarena Munoz\*, Patricia Garcia-Muñoz, Gema Pliego, Zahara M. de Pedro, Juan A. Zazo, Jose A. Casas y Juan J. Rodriguez

Sección Departamental de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Madrid, Crta. Colmenar Km. 15, 28049, Madrid

\*macarena.munnoz@uam.es

## Resumen

Las aguas residuales hospitalarias contienen microorganismos patógenos y sustancias de diversa toxicidad como fármacos, productos de higiene personal y desinfectantes, por lo que su vertido sin un tratamiento adecuado constituye un importante problema medioambiental.

Estos efluentes son habitualmente vertidos a las redes de saneamiento sin recibir tratamiento previo, por lo que, dada la ineficacia de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas convencionales para su eliminación, contaminantes y patógenos provenientes de hospitales han sido detectados en los ecosistemas acuáticos.

En este trabajo se estudia la aplicación del proceso Fenton al tratamiento de un efluente residual proveniente de un hospital de la Comunidad de Madrid. El agua residual presenta una moderada carga orgánica (DQO = 365 mgL<sup>-1</sup>), relativamente baja ecotoxicidad (5 Unidades de Toxicidad), una cantidad de compuestos fenólicos tres veces superior a la permitida por la Ley 10/1993 de la Comunidad de Madrid para su vertido a la red de saneamiento (8,4 mgL<sup>-1</sup>) y una elevada concentración de coliformes (4,16 x 10<sup>6</sup> NMP/100 mL).

Los experimentos de oxidación se llevaron a cabo a pH ácido (pH<sub>0</sub> = 3) en un intervalo de temperaturas comprendido entre 50 y 90 °C, empleando una dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> próxima a la cantidad estequiométrica (1000 mgL<sup>-1</sup>) y una moderada concentración de hierro (Fe<sup>3+</sup> = 25 mgL<sup>-1</sup>).

El proceso Fenton mostró ser una alternativa eficaz para el tratamiento de dichas aguas residuales, obteniéndose un 70% de reducción de DQO, una mineralización del efluente del 50% y la completa eliminación de los compuestos fenólicos, cuando se operó a 70 y 90 °C, con tiempos de reacción de 4 y 1'5 h, respectivamente. Los principales productos obtenidos fueron ácidos orgánicos de cadena corta (oxálico y fórmico), de modo que los efluentes finales no presentaron toxicidad. Asimismo, se aseguró la desinfección del agua, ya que se alcanzó la completa eliminación de coliformes en el intervalo de condiciones de operación estudiado.

**Palabras Clave:** Aguas residuales hospitalarias, desinfección, ecotoxicidad, Fenton, Proceso de Oxidación Avanzada.

## Introducción

Los hospitales consumen una gran cantidad de agua (400 – 1200 Ldía<sup>-1</sup> cama<sup>-1</sup>) y, en consecuencia, generan elevados volúmenes de aguas residuales que contienen una amplia variedad de compuestos tóxicos (fármacos, desinfectantes), microorganismos patógenos y elementos radiactivos.

A pesar de este hecho, los efluentes hospitalarios son habitualmente vertidos a la red de saneamiento sin recibir tratamiento previo y, por tanto, contaminantes y patógenos provenientes de hospitales han sido detectados en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas.

Dada la ineficacia de estas últimas para la eliminación de dichos compuestos y microorganismos, éstos alcanzan finalmente los ecosistemas acuáticos (Santos et al., 2009), lo que representa un importante problema ambiental y de salud pública. De hecho, las aguas residuales hospitalarias son consideradas una importante fuente de patógenos y microorganismos con resistencia antibiótica (Baquero et al., 2008).

En este contexto, resulta imprescindible el desarrollo de procesos de tratamiento eficaces que permitan resolver de modo global la problemática de las aguas residuales hospitalarias. Diferentes tratamientos físico-químicos como la coagulación (Gautam et al., 2007) o la combinación de coagulación-floculación y flotación (Suarez et al., 2009) han sido evaluados para tal fin.

Aunque dichos procesos han permitido reducir la carga orgánica de los efluentes residuales, no han sido eficaces en la eliminación de patógenos y de compuestos emergentes como fármacos o fragancias. Por ello, y dado que se trata de procesos no destructivos que implican el tratamiento adicional de los lodos generados durante el tratamiento, los procesos de oxidación avanzada, y más concretamente el proceso Fenton, aparecen como una alternativa más eficiente desde el punto de vista ambiental y económico.

La oxidación de aguas hospitalarias reales empleando el reactivo Fenton apenas ha sido estudiada en la literatura. No obstante, este proceso ha mostrado una alta eficacia en la degradación de diferentes contaminantes emergentes (Munoz et al., 2012), por lo que se presenta como una tecnología prometedora para tal fin.

De este modo, el objetivo de este trabajo es analizar la eficacia del proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias reales desde una perspectiva global. Siguiendo este objetivo, se han analizado parámetros globales de contaminación a lo largo del tratamiento, como son la demanda química de oxígeno (DQO), el carbono orgánico total (COT) y la concentración de compuestos fenólicos. Además, se ha evaluado el grado de desinfección alcanzado y la ecotoxicidad de los efluentes de oxidación.

## **Materiales y Métodos**

Los experimentos de oxidación se llevaron a cabo en recipientes de vidrio de 100 mL. La temperatura, variada en un rango de 50 a 90 °C, y la velocidad de agitación (200 rpm) se controlaron utilizando un baño termostatzado. Inicialmente, el reactor se cargó con 70 mL del agua residual acidulada a pH 3 (HNO<sub>3</sub>).

Una vez alcanzada la temperatura de reacción se introdujeron 2,5 mL de la disolución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 2,5 mL de la disolución de la sal de hierro (Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>). La cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se fijó en 1,25 veces la cantidad estequiométrica relativa a la DQO inicial (1000 mg L<sup>-1</sup>) (Lucas y Peres, 2009) y la concentración de hierro en 25 mg L<sup>-1</sup>.

A lo largo de la reacción se tomaron muestras que fueron inmediatamente analizadas. El COT se determinó utilizando un analizador de carbono orgánico total (Shimadzu TOC VSCH), la DQO se cuantificó mediante un método colorimétrico estandarizado utilizando dicromato de potasio como oxidante (APHA, 2012) y la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediante un método de valoración colorimétrico (Eisenberg, 1943).

La concentración de compuestos fenólicos totales se determinó utilizando el test del reactivo Folin, mientras que los ácidos orgánicos de cadena corta se analizaron por cromatografía iónica (Methrom, 883 BASIC IC Plus). La ecotoxicidad y la concentración de coliformes totales del agua residual y de los efluentes finales de oxidación se analizaron mediante los ensayos estandarizados Microtox (ISO 11348-3, 1998) y Colilert®-18 (ISO 9308-2:2012), respectivamente.

## **Resultados y Discusión**

La Tabla 1 recoge las principales características del agua residual hospitalaria objeto de estudio. Aunque el efluente cumple en la mayoría de los parámetros (DQO, sólidos en suspensión, ecotoxicidad y pH) los límites de vertido establecidos por la Ley 10/1993 de la Comunidad de Madrid, cabe destacar que la concentración de fenoles totales triplica aproximadamente dicho límite (3 mgL<sup>-1</sup>). Este parámetro global puede relacionarse con la presencia de contaminantes emergentes como fármacos y desinfectantes, ampliamente utilizados en los hospitales.

Por otra parte, es interesante mencionar la elevada concentración de coliformes totales en el agua residual, lo que presenta un problema añadido ya que dichos patógenos pueden contribuir a la diseminación de microorganismos con resistencia a antibióticos en los ecosistemas naturales.

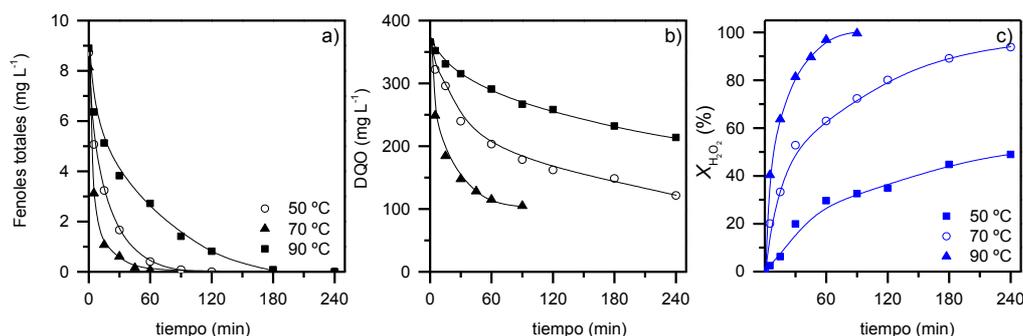
**Tabla 1. Resumen de las principales características del agua residual hospitalaria.**

Parámetro	Valor
pH	8,6 (20 °C)
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	365
COT (mg L <sup>-1</sup> )	110
Nitrógeno total (mg L <sup>-1</sup> )	94
Sólidos en suspensión (mg L <sup>-1</sup> )	138
Ecotoxicidad (UT)	4,8
Fenoles totales (mg L <sup>-1</sup> )	8,4
Coliformes totales (NMP/100 mL)	4.16 x 10 <sup>5</sup>

La Figura 1 muestra la evolución de los compuestos fenólicos a lo largo del tratamiento de oxidación en el rango de temperaturas estudiado. Como se puede observar, en todos los casos se alcanzó la completa eliminación de los mismos aunque el tiempo requerido se redujo considerablemente al aumentar la temperatura de operación.

La degradación de los fenoles totales se ajustó adecuadamente mediante un modelo cinético de primer orden, obteniendo un valor de energía de activación de 47,7 kJmol<sup>-1</sup>. La Figura 2 recoge la evolución de la DQO y de la conversión de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a lo largo de la reacción de oxidación en el intervalo de temperaturas investigado.

Tan solo operando a temperaturas iguales o superiores a 70 °C se alcanzó la completa descomposición del oxidante y una reducción de la DQO adecuada (70%). En dichas condiciones, se alcanzó un grado de mineralización del efluente del 50% con una eficiencia en el consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aceptable (60 mg<sub>TOC</sub>g<sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></sub><sup>-1</sup>) y comparable al valor obtenido en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales industriales (Pliego et al., 2012).



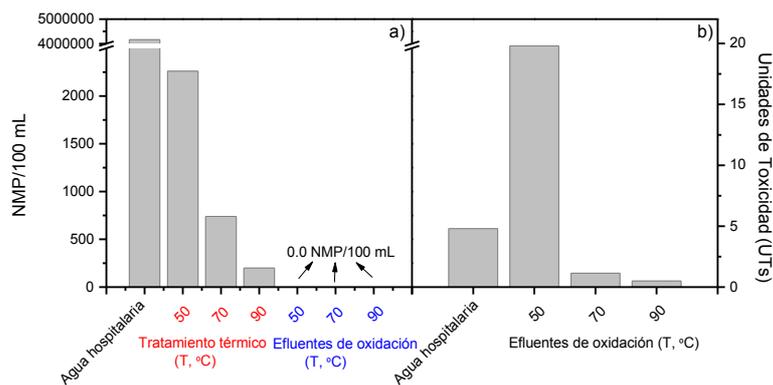
**Figura 1. Evolución de la concentración de fenoles totales (a), DQO (b) y conversión de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c) en la oxidación de las aguas hospitalarias a diferentes temperaturas ([H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 1000 mg L<sup>-1</sup>; [Fe<sup>3+</sup>] = 25 mg L<sup>-1</sup>; pH<sub>0</sub> = 3).**

Dado que los coliformes presentes en las aguas residuales hospitalarias han estado en contacto con cantidades significativas de diferentes fármacos, entre ellos antibióticos, no pueden ser tratados como meros indicadores de contaminación fecal sino como bacterias que pueden dar lugar a la diseminación de resistencia antibiótica (Baquero et al., 2008). Por tanto, la desinfección de los efluentes hospitalarios es fundamental.

El tratamiento térmico de las aguas en las mismas condiciones a las que se llevó a cabo el proceso Fenton dio lugar a rendimientos elevados en la desinfección de las aguas, pero no permitió en ningún caso la completa eliminación de los coliformes (Figura 3a). Por el contrario, el proceso Fenton condujo a la total eliminación de los mismos en el intervalo de temperaturas estudiado.

Además, tal como se recoge en la Figura 3b, este proceso permitió reducir de forma significativa la ecotoxicidad de las aguas cuando se operó a 70 y 90 °C, aunque a 50 °C se observó un aumento de la misma.

Esto se relaciona con la presencia de intermedios de oxidación, lo que resulta coherente con la baja reducción de DQO alcanzada en este caso (Pliego et al., 2012).



**Figura 2. Concentración de coliformes totales (a) y valores de ecotoxicidad (b) en las aguas hospitalarias y en los efluentes de oxidación a diferentes temperaturas.**

## Conclusiones

El proceso Fenton ha mostrado ser una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias.

Bajo las condiciones de operación utilizadas en este trabajo (70-90 °C, cantidad estequiométrica de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 25 mgL<sup>-1</sup> Fe<sup>3+</sup>) se alcanzó la completa eliminación de los compuestos fenólicos, así como una elevada reducción de la DQO (70%), obteniendo efluentes no tóxicos y garantizándose la completa desinfección del agua residual al término del tratamiento.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado mediante los proyectos CTQ2013-4196-R (MINECO) y S2013/MAE-2716 (Comunidad de Madrid). Macarena Munoz agradece al MINECO su contrato postdoctoral Juan de la Cierva-Incorporación (IJC1-2014-19427).

## Referencias

- Baquero F., Martínez J. and Cantón R. (2008) Antibiotics and antibiotic resistance in water environments. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 19, 260-265.
- Eisenberg, G.M. (1943) Colorimetric determination of hydrogen peroxide. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 15, 327-328.
- Emmanuel E., Keck G., Blanchard J., Vermande P., Perrodin Y. (2004) Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater. *Environ. Int.*, 30, 891-900.
- Gautam A.K., Kumar S. and Sabumon P.C. (2007) Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater. *J. Environ. Manage.*, 83, 298-306.
- Lucas M.S. and Peres J.A. (2009) Removal of COD from olive mil wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. *J. Hazard. Mater.*, 168, 1253-1259.
- Munoz M., de Pedro Z.M., Casas J.A. and Rodriguez J.J. (2012) Triclosan breakdown by Fenton-like oxidation. *Chem. Eng. J.*, 198-199, 275-281.
- Pliogo G., Zazo J.A., Blasco S., Casas J.A. and Rodriguez J.J. (2012) Treatment of highly polluted hazardous industrial wastewaters by combined coagulation-adsorption and high-temperature Fenton oxidation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51, 2888-2896.
- Santos J.L., Aparicio I., Callejón M., Alonso E. (2009) Occurrence of pharmaceutically active compounds during 1-year period in wastewaters from four wastewater treatment plants in Seville (Spain). *J. Hazard. Mater.*, 164, 1509-1516.
- Suarez S., Lema J.M. and Omil F. (2009) Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation and flotation. *Bioresour. Technol.*, 100, 2138-2146.