

# ADSORCIÓN DE ACETAMINOFÉN

## SOBRE COMPÓSITOS DE CARBÓN ACTIVADO/FERRITAS PARA APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES Y BIOMÉDICAS

J.C. Rios-Hurtado<sup>1</sup>, Elia Martha Múzquiz Ramos<sup>2</sup>, C. López-Badillo<sup>3</sup>, B. Cruz-Ortiz<sup>4</sup> y Xochitl Sofía Ramírez Gómez<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universidad Autónoma  
de Coahuila  
Blvd. V. Carranza y José  
Cárdenas Valdés  
Saltillo, Coah., México,  
C.P. 25280.

<sup>5</sup> Universidad de Guanajuato  
Av. Ing. Javier Barrios Sierra,  
201, esq. Av. Baja California  
Ejido de Santa María del  
Refugio, Celaya,  
Gto., México, C.P. 38140

 emuzquiz@uadec.edu.mx

Recibido: Noviembre 11, 2016.

Recibido en forma revisada: Diciembre 28, 2016.

Aceptado: Enero 10, 2017.

■ **Resumen:** El acetaminofén es uno de los medicamentos más utilizados en la actualidad como antipirético y analgésico. Este fármaco, al ser de fácil acceso, se ha convertido en un contaminante emergente y un posible compuesto tóxico para el organismo en concentraciones elevadas. Una de las tecnologías más importantes para la remoción de este contaminante es la adsorción sobre carbón activado. Es posible modificar la superficie del carbón con diversos compuestos, como pueden ser ferritas magnéticas, según la aplicación requerida. En este trabajo de investigación se presentan los resultados de adsorción de acetaminofén sobre la superficie de un compuesto de carbón activado (CA) y ferritas: magnetita y ferrita de manganeso-zinc ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ , respectivamente). Se realizaron isotermas de adsorción a diferentes pH y temperaturas, con el fin de determinar la posible aplicación del material. El material se caracterizó mediante magnetometría de muestra vibrante (MMV), microscopía electrónica de barrido (MEB) y titulaciones potenciométricas. El material obtenido con mayor capacidad de adsorción fue el compuesto CA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a pH 3 y una temperatura de 25 °C.

✦ **Palabras clave:** Acetaminofén, adsorción, carbón activado, ferritas magnéticas.

**Abstract:** Acetaminophen is one of the main drugs used as antipyretic and analgesic. This drug has become an emerging contaminant and possible toxic compound to the body at high concentrations. One of the most important technologies for the removal of this contaminant is the adsorption on activated carbon. Furthermore, modification of the surface with various compounds such as magnetic ferrites has been studied. The results of acetaminophen adsorption on the surface on composites of activated carbon (AC) and ferrites: magnetite and manganese-zinc ferrite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$  respectively) are presented. Adsorption isotherms at different pH and different temperatures were performed in order to determine the possible application of the material. The materials were characterized by vibrating sample magnetometry (VSM), scanning electron microscopy (SEM) and potentiometric titrations. Finally, the composite with higher adsorption capacity was the CA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  at pH 3 and a temperature of 25 °C.

✦ **Keywords:** Acetaminophen, activated carbon, adsorption, magnetic ferrites.

## Introducción

El acetaminofén o paracetamol es un ingrediente activo en cientos de medicamentos de venta sin receta. Entre sus principales aplicaciones son las de aliviar el dolor y la fiebre y, cuando se combina con otros ingredientes, se puede encontrar en medicamentos para tratar alergias, tos, resfriados, gripe e insomnio, Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en Inglés, 2015). Es relevante destacar que este medicamento puede causar daño hepático grave si la dosis es mayor a la indicada, Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012), por lo que la FDA ha tomado medidas para mejorar la seguridad de los pacientes a la hora de usar este fármaco (FDA, 2015).

Diversos estudios han señalado al acetaminofén como un contaminante emergente en dosis de hasta 271.3  $\mu\text{g/L}$  (Pal, Gin, Lin y Reinhard, 2010), causando daños hepáticos severos en invertebrados. Por lo anterior, diversas tecnologías se han utilizado para la remoción de estos contaminantes, como puede ser el uso de biorreactores de membrana (Shariati, Mehrnia, Salmasi, Heran, Wisniewski y Sarrafzadeh, 2010), procesos enzimáticos (Lu y Mao, 2009), reacciones foto-Fenton (De Luna, Veciana, Su y Lu, 2012), procesos electroquímicos (Feng, van Hullebusch, Rodrigo, Esposito y Oturan, 2013) y adsorción en carbón activado (Rybolt, Burrell, Shults y Kelley, 1988; Mestre, Pires, Nogueira, Parra, Carvalho y Ania 2011).

La adsorción es un fenómeno superficial, y se entiende como una operación de transferencia de masa en la cual las sustancias presentes en la fase líquida son adsorbidas o acumuladas en la fase sólida, y por lo tanto removidas de la fase líquida (Crittenden, 2005). Diversos adsorbentes se han utilizado en el uso de esta técnica, tales como alúmina activada, zeolitas y carbón activado (Kuznetsov Filippov, Kuznetsov, Gerlivanov, Dobrinsky y Malashin, 1999).

El carbón activado es una forma cruda de grafito con una estructura amorfa, altamente porosa, con una amplia gama de tamaños de poros, de grietas y hendiduras visibles hasta de dimensiones moleculares (Hamerlinck, Mertens y Vansant, 1994). Este adsorbente es producido por la carbonización, empleando una calcinación lenta de un sustrato

precursor en ausencia de aire por debajo de 600 °C, esto elimina los compuestos volátiles (Hamerlinck, Mertens y Vansant, 1994).

Además, en investigaciones recientes, se ha utilizado el carbón activado como una superficie de anclaje de las ferritas para optimizar sus propiedades. Shao, Ren, Zhang y Chen (2012) lograron sintetizar directamente sobre la superficie del carbón activado, una ferrita de manganeso. En trabajos anteriores, Taylor, Krupskaya, Kramer, Fussel, Klingeleker, Buchner y Wirth (2012) lograron introducir partículas de ferritas en carbón activado y además, estos materiales obtenidos, lo aplicaron para técnicas de hipertermia. Ai, Huang, Chen, Wei y Jiang (2010) determinaron que era posible la formación de ferritas de cobalto sobre el carbón activado mediante la coprecipitación de nitratos de hierro y cobalto. Ramanujan, Purushotham y Chia (2007) probaron la formación de un compuesto de carbón activado con ferritas, mediante un método simple: la mecanosíntesis.

El objetivo de este trabajo de investigación fue la obtención de compósitos de carbón activado con dos ferritas distintas: magnetita y ferrita de manganeso-zinc. Posteriormente, se probaron estos materiales en la adsorción de paracetamol para aplicaciones medioambientales y bio-médicas, variando el pH y la temperatura.

## Metodología

### *Síntesis de la magnetita*

Para la síntesis de esta ferrita, se mezclaron  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (2:1) en 50 mL de agua desionizada. Por otro lado, se colocaron 150 mL de agua desionizada en un matraz bola de 500 mL y se calentó a 70 °C, en agitación constante. Una vez que se alcanzó la temperatura, se agregaron 50 mL de hidróxido de amonio concentrado, con el fin de propiciar un medio básico en la solución, y se dejó en agitación y calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 70 °C. Posteriormente, se agregó gota a gota la mezcla de cloruros de hierro a la solución y se dejó en agitación constante durante media hora.

Una vez transcurrido el tiempo, el precipitado obtenido se lavó con 2 L de agua desionizada con el fin de eliminar el exceso de cloruros, dejándose secar a temperatura ambiente durante tres días. Finalmente, el producto obtenido se lavó con 1 L de agua y 250 mL de etanol y se dejó secar a temperatura ambiente.

### *Síntesis de la ferrita de manganeso-zinc*

Conforme a lo reportado en la literatura por Zhang, Zhong, Yu, Liu, y Zeng (2009), se procedió a realizar la síntesis de la ferrita de manganeso y zinc. En un matraz bola de 500 mL se colocaron hidróxido de amonio y una solución de bicarbonato de amonio, en una relación de 1.2 mL de bicarbonato de amonio por cada mililitro de hidróxido de amonio, a una temperatura de 50 °C, con agitación constante. Por otro lado, se preparó una solución que contenía los iones metálicos  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ , correspondientes a los sulfatos de estos metales. Esta solución se agregó gota a gota al matraz bola y se dejó en agitación constante durante una hora.



Para finalizar el proceso, el precipitado obtenido se lavó con suficiente agua desionizada, hasta que se obtuvo el pH neutro del agua de lavados y se dejó secar a temperatura ambiente durante tres días. Por último, se realizó un lavado con etanol y se dejó secar durante 24 horas.

### *Preparación de los compósitos carbón activado/ferritas mediante mecano-síntesis*

Una vez obtenidas las ferritas, se procedió a sintetizar los compósitos de carbón activado/ferritas mediante la técnica de mecano-síntesis. Este procedimiento se llevó a cabo en un molino planetario de la marca FRITSCH, modelo Pulverisette 6. Cierta cantidad de carbón activado y ferritas se agregaron al contenedor de ágata y se colocaron en el molino a 400 rpm durante tres horas en una relación porcentual de 40:60. Finalmente, el producto se lavó con etanol y se dejó secar a temperatura ambiente. Este proceso se realizó para los dos tipos de ferrita obtenidas.

### *Caracterización*

Para obtener los patrones de difracción de rayos X (DRX) de las ferritas sintetizadas, se empleó un equipo de marca Siemens, modelo D-5000, con un rango de barrido de 10 a 80° en la escala 2 $\theta$  y una velocidad de barrido de 0.02°/s, con radiación tipo CuK $\alpha$  a una longitud de onda de 1.54 Å, las condiciones de operación fueron de 25 mA y 35 kV.

Para la determinación de las propiedades magnéticas de las ferritas obtenidas fue empleado un magnetómetro SQUID (Quantum Design, PPMS modelo 6000) con un campo aplicado de  $\pm 20$  KOe. Se pesaron aproximadamente 10 mg de cada muestra, la cual se colocó en el portamuestras del equipo. La medición fue llevada a cabo a temperatura ambiente y se obtuvieron la curva inicial de magnetización y el ciclo de histéresis.

Con el fin de determinar la forma en que se encontraban distribuidas las partículas sobre la superficie del carbón activado, se realizaron estudios con un microscopio electrónico de barrido (MEB) de emisión de campo. El tamaño y forma de las partículas de las ferritas sobre la superficie de carbón activado se observaron en un microscopio JEOL JSM-7401F.

La determinación de la distribución de carga mediante titulaciones potenciométricas es de importancia para determinar el comportamiento de la superficie material con respecto al pH. El punto de carga cero se determinó de la siguiente manera: se colocaron, en tubos de propileno de 100 mL, 100 mg del material a analizar con 50 mL de una solución 0.01M de NaNO<sub>3</sub>. Ésta solución se dejó en agitación durante 12 horas. Pasado el tiempo, se agregó una solución de HCl 0.1N, hasta obtener un pH de 2.5, y posteriormente la solución se tituló con NaOH 0.1 M. Estas valoraciones se llevaron a cabo en la tituladora automática Mettler Toledo (PL 70).

### *Adsorción de acetaminofén*

Se llevaron a cabo experimentos para comprobar la eficiencia del material para la adsorción de acetaminofén a tres diferentes pH: 3, 7 y 10. El pH de las soluciones a utilizar se ajustó mediante la adición de soluciones 0.1 N de HNO<sub>3</sub> o NaOH.

En tubos cónicos de 50 mL, se colocaron 100 mg de los materiales a analizar y se sumergieron en soluciones de concentración conocida de acetaminofén. Posteriormente, estos tubos se colocaron en una incubadora FELISA a 37 °C. Al alcanzar el equilibrio 72 horas, las muestras se filtraron y el acetaminofén remanente en la solución se determinó en el equipo UV-Vis JENWAY 7315 Spectrophotometer a una longitud de onda de 292 nm.

## Resultados y discusiones

### Estructura cristalina de las ferritas sintetizadas.

En la Figura 1 se presentan los difractogramas de las ferritas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ , comparadas con sus patrones de difracción. Estos patrones se analizaron mediante el software Match, arrojando las cartas patrón que se adecúan a la fase obtenida en la síntesis de las ferritas. La magnetita obtenida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) corresponde al patrón de difracción de la magnetita JCPDS 075-0449 (Joint Committee on Powder Diffraction Standards), con una estructura de tipo espinela inversa. Para la ferrita de manganeso-zinc se encontró que el patrón que correspondía fue una especie de ferrita de zinc ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ).

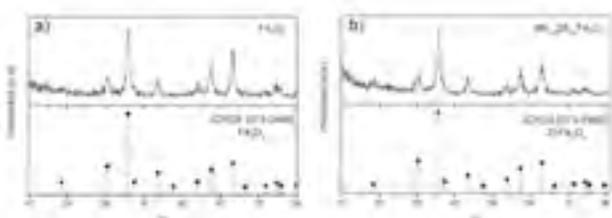


Figura 1. Patrones de difracción de rayos X de las ferritas sintetizadas a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y b)  $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ .

Por otra parte, también se calcularon los valores de tamaño de cristallita mediante la ecuación de Debye-Scherrer. Los resultados se resumen en la Tabla 1.

Muestra	Tamaño de cristallita (nm)
$\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$	9.41
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	15.92

Tabla 1. Tamaño de cristallita de las ferritas sintetizadas.

### Propiedades magnéticas de los compósitos

En la Figura 2 se presentan las magnetometrías de muestra vibrante (MMV) de las ferritas y los compósitos obtenidos, donde a simple vista se puede observar que todos los materiales presentan un comportamiento superparamagnético. De acuerdo a Amiri y Shokrollah (2013), un comportamiento superparamagnético de un material se da cuando los valores de remanencia y coercitividad son muy cercanos a cero.

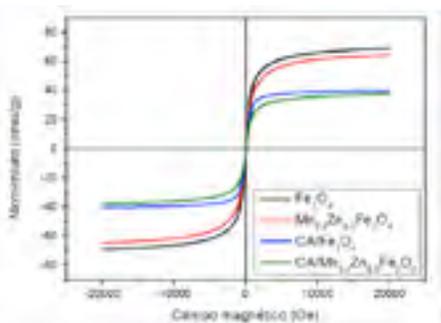


Figura 2. Magnetometrías de muestra vibrante de ferritas y compósitos.

Además, en la Tabla 2, se muestra una comparación de las propiedades magnéticas de las ferritas sintetizadas y los compósitos. En esta, se puede observar que todas las propiedades magnéticas de los compósitos, en comparación con las ferritas, disminuyen. Estos resultados concuerdan con los esperados debido a la presencia del carbón activado, el cual es un material diamagnético orgánico que no presenta un comportamiento magnético (Mendes, Koch, Bachmatiuk, El-Gnedi, Krupskaya, Springer, Klingeler, Schmidt O, Buchner, Sanchez y Rummeli, 2014).

Muestra	M. Saturación (emu/g)	M. Remanente (emu/g)	Coercitividad Oe
$\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$	54.48	0.88	9.61
CA/ $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$	37.72	0.01	8.67
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	99.16	0.45	10.28
CA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$	40.72	0.35	8.92

Tabla 2. Propiedades magnéticas de las ferritas y sus compósitos.

### Morfología de los compósitos

En la Figura 3 se presentan las microscopías electrónicas de barrido del carbón activado y de los compósitos de carbón activado y ferritas magnéticas. En la Figura 3A se observa la superficie del carbón activado, donde se encuentra la estructura amorfa y porosa del mismo. Una vez que se realiza el proceso de mecanosíntesis (Figura 3B y Figura 3C), las ferritas magnéticas parecen estar depositadas sobre la superficie del carbón activado, presentando una forma esférica, la cual es típica de estos compuestos. También, existe una aglomeración de las mismas, que puede deberse a la alta cantidad de grupos oxigenados en la superficie del carbón activado, los cuales permiten el anclaje de las ferritas. Estas imágenes nos pueden indicar que la formación del compuesto CA/Ferritas fue exitosa.

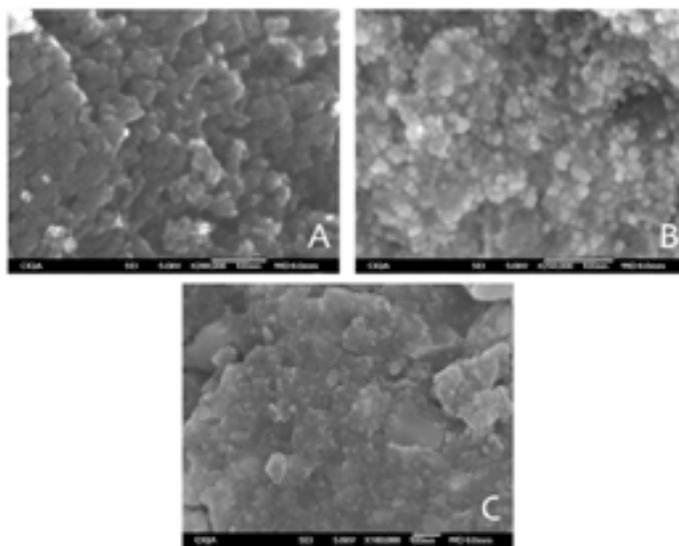


Figura 3. Microscopías obtenidas para los materiales sintetizados. A) Carbón activado, B) Compósito CA/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y C) Compósito CA/ $\text{Mn}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Fe}_2\text{O}_4$ .

## Adsorción de paracetamol

De acuerdo a las pruebas preliminares de adsorción a diferentes pH, la más alta capacidad de adsorción se exhibió a pH 3, por lo que sólo se presentan los resultados de las isotermas de adsorción a este pH, variando la temperatura, 25 °C y 37 °C. Como se puede observar en la Figura 4, la capacidad de adsorción máxima es de alrededor de 45 mg del acetaminofén por gramo del compuesto CA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Lo anterior puede ser debido a que se presenta una saturación del acetaminofén en la superficie del compuesto CA/Mn<sub>0,4</sub>Zn<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, lo que puede generar una baja capacidad de adsorción (Q).

Además, es relevante destacar que el compuesto CA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> demostró tener una mayor capacidad de adsorción que el CA/Mn<sub>0,4</sub>Zn<sub>0,6</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en ambas temperaturas probadas y en los pH estudiados. También, el compuesto CA/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> demostró tener una mayor capacidad de adsorción en temperaturas menores (25 °C). Se procedió a incorporar estos valores en modelos de Langmuir, o en su defecto Freundlich; sin embargo, estos valores corresponden al inicio de la isoterma, por lo que se recomienda para posteriores estudios probar concentraciones más altas.

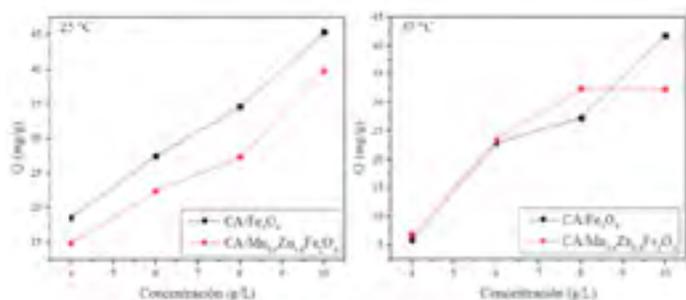


Figura 4. Isotermas de adsorción de acetaminofén sobre la superficie de los compósitos a pH3, variando la temperatura (25 °C y 37 °C).

Por otro lado, y con el fin de determinar el mecanismo de adsorción de acetaminofén sobre la superficie de los compósitos, se realizaron titulaciones potenciométricas para determinar la carga superficial de los materiales.

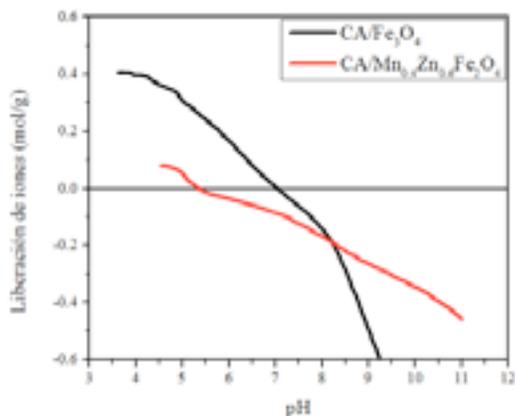


Figura 5. Distribución de carga superficial con respecto al pH de los compósitos sintetizados.

En la Figura 5, se presentan las distribuciones de carga para los compósitos. El perfil ácido de los materiales se puede atribuir a la presencia de un carbón activado como matriz, el cual presenta propiedades superficiales ácidas. Esto puede dar un indicio de que el paracetamol está siendo adsorbido mediante cargas electrostáticas, donde la carga del compuesto a pH 3 es positiva y los pares de electrones libres de los oxígenos en la estructura química del paracetamol pueden generar una interacción, y de esta manera ser adsorbidos en la superficie (Moreno-Castilla, 2004). Además, puede existir adsorción por interacciones  $\pi$  entre la superficie del carbón activado y la estructura del acetaminofén (Li, Lei y Huang, 2009; Lladó, Lao-Luque, Ruiz, Fuente, Solé-Sardans y Dorado, 2015).

## Conclusiones

Fue posible la obtención de compósitos de carbón activado/ferritas con propiedades superparamagnéticas. Las ferritas están distribuidas sobre la superficie del carbón activado, debido a los grupos oxigenados presentes en ésta superficie. Además, los materiales presentan una buena capacidad de adsorción de acetaminofén a pH 3 y 7, por lo que pueden ser utilizados para la remoción de este fármaco en aplicaciones medioambientales, así como también para desintoxicación gástrica en aplicaciones biomédicas, debido a que interactúa mejor a pH 3 por la carga parcial positiva de la superficie, similar al pH del estómago.

## Símbolos

°/s	Velocidad	(grados por segundo)
°C	Temperatura	(grados Celsius)
2 $\theta$	Ángulo de difracción	(dos theta)
Å	Distancia	(angstrom)
emu/g	Magnetización	(emu por gramo)
h	Tiempo	(hora)
kOe	Intensidad del campo magnético	(kilo oersted)
kV	Potencial eléctrico	(kilovoltio)
L	Volumen	(Litro)
M	Concentración	(molaridad)
mA	Intensidad de corriente eléctrica	(miliamperios)
mg	Masa	(miligramo)
mL	Volumen	(microlitros)
N	Concentración	(normalidad)
nm	Distancia	(nanómetro)
Oe	Intensidad del campo magnético	(oersted)
pH	Grado de acidez	(potencial de hidrógeno)
Q	Capacidad de adsorción	(miligramos de adsorbato por gramo de adsorbente)
rpm	Velocidad	(revoluciones por minuto)
µg/L	Concentración	(microgramos por litro)



## Bibliografía

- †Ai L., Huang H., Chen, Z., Wei, X. y Jiang J. (2010). Activated carbon/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composites: Facile synthesis, magnetic performance and their potential application for the removal of malachite green from water. *Chem. Eng. J.*, 156, 243-249.
- †Amiri, S., Shokrollahi, H. (2013). The role of cobalt ferrite magnetic nanoparticles in medical science. *Mater. Sci. Eng. C.*, 33, 1 - 8.
- †Crittenden, J., (2005). *Water treatment principles and design*. New Jersey: J. & Sons Wiley. ISBN # 978-0-470-40539-0.
- †FDA, (2015). Acetaminophen Information. Encontrado en: <http://www.fda.gov/Drugs/DrugSafety/InformationbyDrugClass/ucm165107.htm> [Fecha de consulta: Febrero 19, 2016].
- †Feng L., D. van Hullebusch E., Rodrigo M., Esposito G. y Oturan M. (2013). Removal of residual anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals from aqueous systems by electrochemical advanced oxidation processes. A review. *Chem. Eng. J.*, 228, 944-964.
- †Hamerlinck Y, Mertens D, Vansant E (1994). *Activated carbon principles in separation technology*. New York: Elsevier.
- †Kuznetsov, A., Filippov, V., Kuznetsov, A., Gerlivanov, V., Dobrinsky, E., Malashin, S. (1999). New ferro-carbon adsorbents for magnetically guided transport of anti-cancer drugs. *J. Magn. Magn. Mat.*, 194, 22-30.
- †Li B., Lei Z. y Huang Z. (2009). Surface-treated activated carbon for removal of aromatic compounds from water. *Chem. Eng. Technol.*, 32, 763-770.
- †Lladó J., Lao-Luque C., Ruiz B., Fuente E., Solé-Sardans M. y Dorado A. (2015). Role of activated carbon properties in atrazine and paracetamol adsorption equilibrium and kinetics. *Process Saf Environ Protection*, 95, 51-59.
- †Lu J., Huang Q. y Mao L. (2009). Supporting information removal of acetaminophen using enzyme-mediated oxidative coupling processes : I. Reaction Rates and Pathways. *Environ. Sci. Technol.*, 43: 7062-7067.
- †De Luna M., Veciana M., Su C. y Lu M. (2012). Acetaminophen degradation by electro-Fenton and photoelectro-Fenton using a double cathode electrochemical cell. *J. Hazard. Mater.*, 217-218: 200-207.
- †Mendes R., Koch B., Bachmatiuk A., El-Gnedi A., Krupskaya Y., Springer A., Klingeler R., Schmidt O., Buchner B., Sanchez S. y Rummeli M. (2014). Synthesis and toxicity characterization of carbon coated iron oxide nanoparticles with highly defined size distributions. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1840: 160-169.
- †Mestre A., Pires J., Nogueira J., Parra J., Carvalho A. y Ania C. (2011). Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: kinetics of paracetamol and ibuprofen removal from aqueous solution. *Bioresour. Technol.*, 100: 1720-1726.
- †Moreno-Castilla, C. (2004). Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon.*, 42: 83-94.
- †Paracetamol, Organización Mundial de la Salud, consultado en: <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Jh2929e/6.2.html> [Fecha de consulta: Octubre 26, 2016].
- †Pal A., Gin K., Lin A. y Reinhard M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Sci. Total Environ.*, 408: 6062-6069.
- †Ramanujan, R., Purushotham, S. y Chia, M. (2007). Processing and characterization of activated carbon coated magnetic particles for biomedical applications. *Mater. Sci. Eng. C.*, 27: 659-664.
- †Rybolt, T. Burrell D., Shults J. y Kelley A. (1988). A biomedical application of activated carbon adsorption: An experiment using acetaminophen and n-acetylcysteine. *J. Chem. Ed.*, 65: 1009.
- †Shao L., Ren Z., Zhang G., Chen L. (2012). Facile synthesis, characterization of a MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/activated carbon magnetic composite and its effectiveness in tetracycline removal. *Mater. Chem. Phys.*, 135: 16-24.
- †Shariati F., Mehrnia M., Salmasi B., Heran M., Wisniewski C. y Sarrafzadeh M. (2010). Membrane bioreactor for treatment of pharmaceutical wastewater containing acetaminophen. *Desalination*, 250: 798-800.
- †Taylor A., Krupskaya Y., Kramer K., Fussel S., Klingeleker R., Buchner B. y Wirth M. (2010). Cisplatin-loaded carbon-encapsulated iron nanoparticles and their in vitro effects in magnetic fluid hyperthermia. *Carbon*, 48: 2327-2334.
- †Zhang C., Zhong X. Yu H., Liu Z. y Zeng D. (2009). Effects of cobalt doping on the microstructure and magnetic properties of Mn-Zn ferrites prepared by the co-precipitation method. *Phys. B.*, 404: 2327-2331.