

# Eficiencia de la adsorción en columnas empacadas con cáscara de huevo y carbón activado de un lixiviado previamente tratado por Fenton

Barceló Quintal Icela Dagmar<sup>1\*</sup>, Zamora Villafranco Erika<sup>1</sup>, Solís Correa Hugo Eduardo<sup>1</sup>,  
García Albortante Julisa<sup>1</sup>, Vega Paz Araceli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

<sup>2</sup>Desarrollo de Materiales y Productos Químicos, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Dirección Eje Central Lázaro Cárdenas Norte 152. San Bartolo Atepehuacan. Gustavo A. Madero C.P. 07730.

\*Autor para correspondencia: [ibarceloq@gmail.com](mailto:ibarceloq@gmail.com)

## Recibido:

28/junio/2017

## Aceptado:

25/octubre/2017

## Palabras clave

Cáscara de huevo, carbón activado, adsorción lixivados

## Keywords

Egg shell, activated carbon, leachate adsorption

## RESUMEN

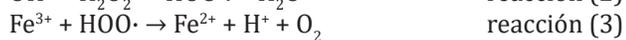
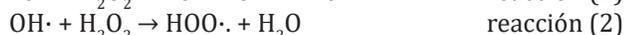
Se presenta un estudio sobre el aprovechamiento del desecho cáscara de huevo como adsorbente de un lixiviado previamente oxidado mediante oxidación avanzada Fenton/ $H_2O_2$ . Con este bioadsorbente se empacaron columnas utilizadas como adsorbentes, donde la DQO fue el parámetro de seguimiento del comportamiento fisicoquímico y químico de cada una. Se utilizó además una columna empacada con carbón activado lignítico como pulimento, se demostró que al utilizar la cáscara de huevo hay un ahorro en cuanto al carbón activado. Se alcanzó un rendimiento final del 98.56%, considerando al lixiviado crudo hasta el final del tratamiento a pesar del pequeño valor del área superficial de la cáscara de huevo. Se logró alcanzar un valor menor de 320 mg/L que es el permitido por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales de la Comisión Nacional del Agua en México.

## ABSTRACT

A study on the use of eggshell, which is a waste, as an adsorbent of a previously oxidized leachate with advanced oxidation Fenton/ $H_2O_2$  reagents is presented. With this bioadsorbent, two columns were packed, which were used as adsorbents, where COD was the parameter used to follow the physicochemical and chemical behavior of each column. A column packed with lignite activated carbon as polish was also used, it was shown that when using the eggshell there is a saving in terms of activated carbon. A final yield of 98.56% was reached, considering crude leachate until the end of treatment despite small value of surface area of eggshell. A value of less than 320 mg/L was achieved, which is permitted by the Federal Law on National Water Commission National Water Rights and Provisions in Mexico.

## Introducción

El lixiviado de un relleno sanitario, ubicado en el Municipio de Tlalnepantla, Estado de México, México fue tratado por oxidación avanzada Fenton (PAO's), (Ramírez-Sosa et al., 2013), seguido por dos procesos de adsorción primero con cáscara de huevo (CH) que, siendo un residuo, se aprovechó como bioadsorbente como primera etapa de adsorción, esto es importante pues contribuye a minimizar un problema ambiental (Zamora-Villafranco *et al* 2016; Zamora Villafranco *et. al.*, 2014; Barceló *et. al.*, 2013a; Barceló, *et. al.*; 2013b), este bioadsorbente debido a sus características estructurales, se compone por  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaPO}_4$  y de proteínas que participan de manera importante en el proceso de adsorción (Kalyani *et. al.*; 2009, Arami *et. al.*, 2006a). Posteriormente como etapa final se utilizó carbón activado lignítico (CAL) como pulimento, al utilizar la CH antes de carbón activado minimizó el costo de éste, ambos adsorbentes se estudiaron en columna empacadas en cada caso. La CH actúa como un adsorbente relativamente bueno a pesar de tener una estructura poco porosa, además presenta grandes ventajas al ser un agente neutralizante. En la reacción de Fenton se aprovecha la energía catalítica fuerte que poseen algunos metales que al ser combinados con  $\text{H}_2\text{O}_2$ , originan radicales oxhidrilos ( $\text{OH}\cdot$ ) altamente oxidantes. Así el  $\text{Fe}^{2+}$  al reaccionar con peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) genera el siguiente conjunto de reacciones que producen los radicales necesarios:



Estas reacciones producen compuestos altamente oxidantes, capaces de tratar una gran variedad de sustancias no biodegradables o recalcitrantes (Perkowski *et. al.*, 2006). El proceso de Fenton ha demostrado su eficiencia en el tratamiento de líquidos que contienen desechos peligrosos, como los lixiviados (Bódaló *et. al.*, 2007). En el proceso es importante cuidar la velocidad de generación de radicales, que está determinada por la reacción de Fe (II) con el  $\text{H}_2\text{O}_2$ , por lo que la concentración de hierro limita la velocidad de oxidación (Perkowski *et. al.*, 2006). Al optimizar la relación  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ , así como la del pH, la reacción de Fenton ha mostrado grandes ventajas en el tratamiento de lixiviados (Zamora-Villafranco *et. al.*, 2016; Zamora-Villafranco *et. al.* 2014; Barceló *et. al.*, 2013a; Barceló *et. al.*, 2013b).

Así, el objetivo principal de este trabajo fue el estudiar el uso de la CH como bioadsorbente en columna, para un

lixiviado previamente tratado mediante una oxidación avanzada Fenton; utilizando en una etapa final CAL como pulimento del proceso, con el fin de economizar el uso de éste y lograr la calidad según la Ley Federal de Derecho y Disposiciones, Aplicable en Materia de Aguas Nacionales de la Comisión Nacional del Agua y las normas mexicanas: NOM-083-ECOL-1996 y NOM-CCA-032-ECOL-1993. Se utilizó para la interpretación del comportamiento de la adsorción el modelo de Thomas.

## Metodología

Por medio de la norma NOM-AA-003-1980, para muestreo de aguas residuales y lixiviados, se realizó el muestreo en la laguna de lixiviados del relleno sanitario ubicado en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México, México, que recibe más de 900 T/d. La concentración promedio del lixiviado crudo fue de DQO de  $8210 \pm 175$  mg/L. Se caracterizó el lixiviado crudo por espectroscopia de infrarrojo en un equipo Thermo Fisher Scientific, NICOLETE iS10. El pH (NOM-AA-008-SCFI-2011, 2011) y la temperatura (NOM-AA-007-SCFI-2000, 2000) se midieron in situ con un equipo de campo HANNA HI 98160. La DQO se determinó con un reactor marca HANNA Instruments HI839800 (Standard Method 5520 C, 1997) y las lecturas con un equipo HACH DR/2400 (Standard Method 5520 D, 1997). Para la oxidación por medio de la reacción de Fenton, se ajustó el pH a 3, utilizando  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado J.T. Baker. Se determinó la relación óptima entre  $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ , variando las cantidades de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  grado reactivo, J.T. Baker y  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% de concentración, J.T. Baker; adicionados a 15 mL de lixiviado (Barceló *et. al.*, 2013a). El parámetro de seguimiento fue el carbono orgánico total (COT), en un equipo Analytik Jena Multi NC300, estos datos se efectuaron en estudios previos para oxidación de este lixiviado (Barceló *et. al.*, 2013a; Barceló, 2013b), se realizaron análisis por y espectroscopía de masas IR (Zamora-Villafranco *et. al.*, 2016) donde se identificaron algunos componentes del lixiviado, en estudios de adsorción por lotes se obtuvieron en las isotermas de Lagmuir (Zamora-Villafranco *et al.*, 2014) de Freundlich (Barceló, *et. al.*, 2013b), isotermas de Temkin (Zamora-Villafranco *et al.*, 2016). Se han realizado estudios de Espectroscopia de Rayos X (DXR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) para la morfología de la CH (Zamora-Villafranco *et. al.*, 2016). Se determinó el área superficial por medio de la ecuación de BET, en un equipo modelo ASAP 2020, marca Micromeritics.

Para la primera columna de adsorción con CH, se utilizó una columna de vidrio 27 cm de alto y 1.6 cm de diámetro empacada con 40 g de CH de tamaño de partícula de 494

> 589  $\mu\text{m}$ . Se introdujo lixiviado tratado por Fenton (LF-CH) a un flujo optimizado de lecho fijo. Se tomaron 2 mL de muestra a diferentes tiempos de contacto (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 min). Se determinaron la DQO y el pH a cada una de las muestras. Por otro lado se obtuvo también el potencial redox tanto del influente como al efluente de la columna; con los valores de DQO obtenidos a diferentes tiempos, construyendo la primera curva de ruptura. Una vez obtenido el eluido de la primera columna (LF-CH1), se pasó a una segunda columna con las mismas dimensiones de la primera, también con 40 g de CH y tamaño de partícula de 494 > 589  $\mu\text{m}$ . Se introdujo LF-CH1 a un flujo de tipo descendente y a 2 mL/min, al eluido de la segunda columna se le denominará LF-CH2. Se tomaron 2 mL de muestra a los mismos tiempos de contacto de la primera columna y se construyó su curva de ruptura, finalmente el eluido (LF-CH2) se pasó a una tercera columna de carbón activado lignítico (CAL) como pulimento, a este eluido final se le denominó LFCH-CAL. Con los resultados obtenidos para cada columna, se aplicó el modelo de Thomas para observar el comportamiento adsorptivo en las diferentes secciones de las columnas. Para evaluar el rendimiento de las columnas de adsorción en lecho fijo se obtuvo una curva de ruptura, que se construyó mediante la ecuación 1, se construyó una gráfica considerando la relación de la concentración final (efluente), entre la inicial (influyente), en función del tiempo o el volumen del efluente. Una vez construida la curva de ruptura se calculó el volumen del efluente, a partir de la ecuación 2 (Uddin et al., 2009). La masa en el equilibrio o la máxima capacidad de la columna, se calculó por la ecuación 3 (Karimi et al., 2012). El valor de la masa total adsorbida, se calculó con la ecuación 4 (Han et al., 2009; Karimi et al., 2012). Posteriormente se calculó la masa total del adsorbente en la columna con la ecuación 5, (Oguz y Ersoy, 2010; Karimi et al., 2012). Finalmente el porcentaje de remoción de DQO se calculó con la ecuación 6, (Karimi et al., 2012):

$$H_{mtz} = Z \left[ \frac{V_e - V_b}{V e^{-0.5(V_e - V_b)}} \right] \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$H_{mtz}$ = Longitud de la zona de transferencia de masa (m)  
 $Z$ = Altura de la columna de adsorción  
 $V_e$ = Volumen de agotamiento de la columna (m<sup>3</sup>)  
 $V_b$ = Volumen volumen de rompimiento de la columna (m<sup>3</sup>)

$$V_{eff} = Q \cdot t_{total} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$V_{eff}$ = Volumen del efluente  
 $Q$ = caudal (mL/min)  
 $t_{total}$ = tiempo total de flujo (min)

$$q_{total} = \frac{Q}{1000} \int_{t=0}^{t=total} C_{ad} dt \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

$q_{total}$ = Capacidad de adsorción total  
 $C_{ad}$ = Es el valor de la DQO removida (mg/L)

$$q_{eq} = q_{total} / m \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$q_{eq}$ = masa en el equilibrio o la máxima capacidad de la columna  
 $m$ = peso seco del adsorbente en la columna (g)

$$m_{total} = C_0 q_{total} l \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$m_{total}$ = masa total de la c

$$\%Y = \frac{q_{total}}{m_{total}} * 100 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$\%Y$ = porcentaje de remoción de la DQO

Debido a que el diseño de un proceso de adsorción en columna requiere una buena predicción de la curva de ruptura para el efluente, se utilizó el modelo de Thomas, que asume un comportamiento de flujo pistón en el lecho del soporte. Este modelo es ampliamente utilizado para describir la teoría de rendimiento del proceso de adsorción en una columna de lecho fijo (Chen et al., 2012). Es uno de los modelos más generales que es usado para interpretar los datos de la columna; este modelo supone que el proceso de adsorción sigue una isoterma de Langmuir para el equilibrio y además obedece una cinética de reacción reversible de segundo orden (Karimi et al., 2012). Se utilizó en los cálculos la ecuación en forma linealizada descrita por la ecuación 7, (Chen et al., 2012; Karimi et al., 2012):

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \frac{K_{Th} q_0 m}{Q} - K_{Th} C_0 t \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

$K_{Th}$  = es la constante del modelo de Thomas (mL/min mg)

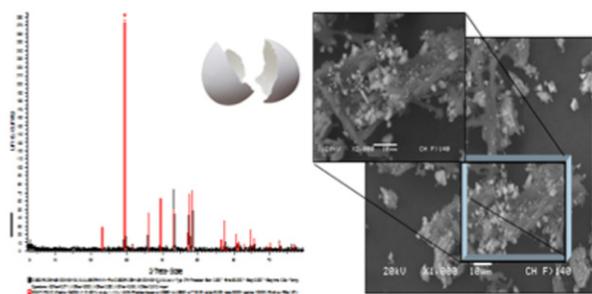
$q_0$  = es la capacidad de adsorción (mg/g),

$t$  = Representa el tiempo total de flujo (min).

Los valores de  $k_{Th}$  y  $q_0$  se obtuvieron al graficar  $\ln$  vs tiempo (t).

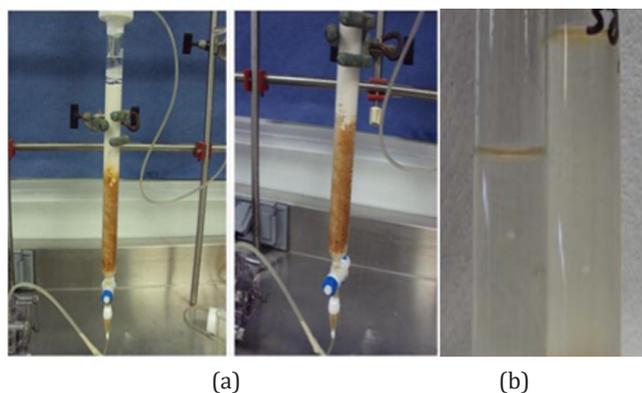
## Resultados y discusión

El resultado de la difracción de rayos X de polvos, indicó que la cáscara de huevo contiene el 94% de  $CaCO_3$  y pequeñas cantidades de  $MgCO_3$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$  y materia orgánica incluyendo proteínas, como el ácido mucopolisacárido, figura 1. El área de adsorción de la CH resultó con un valor de  $3.00 \text{ m}^2/\text{g}$ , lo cual es un área pequeña comparada con el carbón activado lignítico (CAL) que fue de  $618.19 \text{ m}^2/\text{g}$ .



**Figura 1.** a). Espectro de rayos X de la CH. b). Microscopía de barrido (MEB) de la cáscara de huevo (Zamora-Villafranco, et al, 2016).

En la figura 2, se muestra las primeras columnas empacadas con cáscara de huevo con un tamaño de partícula de  $537.28 \mu\text{m}$ . En la figura 2a se observa el color que deja en la superficie del soporte el Fe (III) del hierro del proceso Fenton. En la figura 2b el eluido todavía salió turbio.



**Figura 2.** (a). Columnas empacadas con CH, cuando se pasó lixiviado previamente tratado mediante el proceso Fenton/ $H_2O_2$ . (b). Eluido turbio con algo del Fe (III).

Las características de la columna usada para el primer proceso de adsorción con CH como soporte, se muestra en la tabla 1. Se utilizó un flujo descendente. En la figura 3.

**Tabla 1.** Característica de la columna de CH, para la primera adsorción.

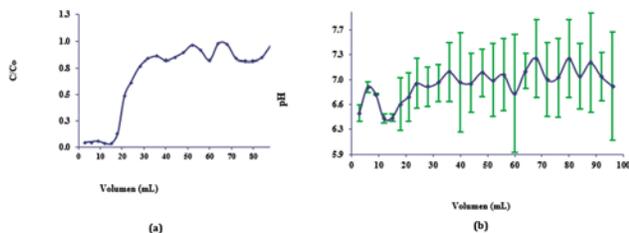
Datos	Unidades	Valor
Volumen total de columna	mL	31.00
Altura total de la columna	cm	27.00
Diámetro	cm	1.60
Q (carga)	mL/min	2.00
Altura del soporte de la CH	cm	13.67
pH del lixiviado	-	2.13
Tiempo máximo de prueba	min	20.00
Cantidad de LF (lixiviado tratado por Fenton)	mL	40.00

Las curvas de ruptura muestran el desempeño de las columnas, el tiempo necesario para la aparición del parámetro en estudio, así como su comportamiento con respecto al tiempo. Los resultados de la concentración de la DQO y su remoción, se muestran en la tabla 2. La concentración de la DQO en el LF-C fue de  $805 \text{ mg/L}$ .

**Tabla 2.** Concentración de DQO para el eluido de la primera columna de adsorción.

Volumen (mL)	DQO (mg/L)	Eliminación %
0	$805 \pm 49$	N/A
4	$784 \pm 36$	2.61
8	$763 \pm 29$	5.22
12	$703 \pm 21$	12.67
16	$662 \pm 25$	17.76
20	$648 \pm 22$	19.50
24	$631 \pm 20$	21.61
28	$622 \pm 26$	22.73
32	$614 \pm 24$	23.73
36	$584 \pm 19$	27.45
40	$542 \pm 23$	32.67

Con estos valores se construyó la curva de ruptura, figura 3a.



**Figura 3.** a) Curva de ruptura para la adsorción de DQO contenido en el LF-C, sobre la primera columna empacada con CH, b) Variación de pH en la primera columna de adsorción.

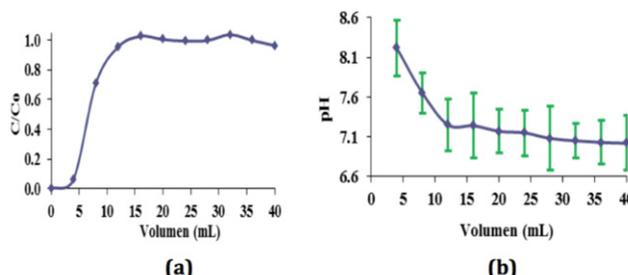
Cuando la concentración del efluente de la columna llegó a alrededor de 0.1% de la concentración influente se obtuvo el punto de ruptura (Kundu et. al., 2004), el cual fue alcanzado a los 18 mL, a un tiempo de 9 min y el valor de DQO obtenida fue de 99 mg/L.

El punto donde la concentración del efluente alcanzó el 95% se le denomina punto de agotamiento de la columna, el cual se logró a los 52 mL, en un tiempo de 26 min. Después del punto de agotamiento, el cambio en la concentración de la DQO tendió a ser constante y las ligeras variaciones se pudieron deber a la formación del CO<sub>2</sub>, donde el lixiviado previamente tratado por Fenton/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (LFC) atacó ligeramente la superficie de la CH del empaque, lo que se puede observar en los valores del pH mostrados en figura 3b.

Para el estudio del comportamiento cinético del proceso en columna, se utilizó el modelo de Thomas; en la tabla 4, se indican los porcentajes de eliminación de la materia oxidable medida como DQO que fue del 32.67 % a los 40 min. El valor de la DQO, donde al eluido de esta columna se le denominó LFCH-C1. El valor del pH en el LFCH-C1 fue de 7.04 ± 0.13 a los 40 min. Con respecto a la segunda columna empacada con la cáscara de huevo (CH), se tiene que, dado que el eluido de la primera columna de adsorción fue turbio, se propuso pasarlo por una segunda para mejorar las características del eluido. El color del efluente de la segunda columna fue de color ligeramente amarillo y turbia. La concentración inicial del eluido proveniente de la primera columna fue de 542 mg/L, se utilizó el mismo tamaño de partícula del CH de la primera columna, para esta segunda columna. Con estos valores se construyó su curva de ruptura, figura 4a, donde el tiempo de ruptura fue 3 mL a los 1.5 minutos y el volumen de agotamiento fue de 12 mL a los 6 minutos, el volumen tratado fue de 12 mL del lixiviado LPCH-C1 proveniente de la primera columna.

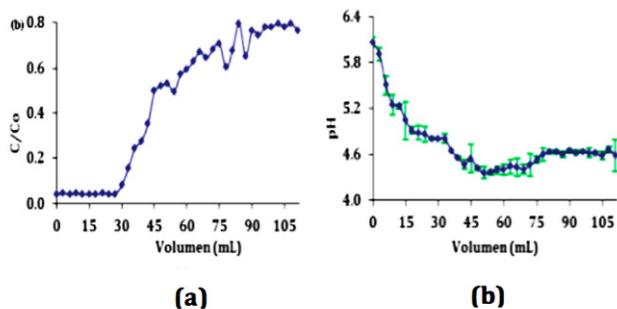
**Tabla 4:** Parámetros calculados mediante el modelo de Thomas para la primera columna de adsorción.

Ecuación Y = -0.2683x + 3.5999	
0.7794	R <sup>2</sup> (de la ecuación)
13.42	min
0.763	mg/mL
0.352	mL/min mg
2.00	mL/min
40.06	g
0.51	mg/g



**Figura 4.** a) Curva de ruptura para la segunda columna de CH, b) Valores de pH.

Después del punto de agotamiento, el cambio en la concentración de la DQO tuvo una tendencia constante. Esta columna no presentó fracturas, por no existir formación de CO<sub>2</sub>, observese en la figura 3b a diferencia de la figura 2b de la primera columna. Sin embargo existió disminución del pH; los valores altos de pH se pudieron deber a un arrastre de partículas pequeñas de CaCO<sub>3</sub> al inicio del tratamiento, ya que después de un tiempo el valor de pH permaneció prácticamente constante, figura 4b. Cuando la concentración del efluente de esta columna llegó alrededor del 0.1% de la concentración influente, fue el punto de ruptura (Kundu et al., 2004), el cual se alcanzó a los 18 mL en un tiempo de 9 min, el valor de la DQO alcanzada fue de 357 mg/L; que fue el punto donde la concentración del efluente alcanzó el 95% (punto de agotamiento de la columna) que se logró a los 52 mL en un tiempo de 26 min. Con respecto a la columna de carbón activado lignítico (CAL), es importante mencionar que uno de los objetivos de esta investigación es ahorrarlo por sus costos y solo se utilizó como proceso de pulimento, el eluido final se le denominó LFCH-CAL. La curva de ruptura se muestra en la figura 5a.



**Figura 5.** a) Curva de ruptura para la adsorción del LF-C en una columna empacada con CAL, b) Variación de pH en la adsorción del LF-C en una columna empacada con CAL.

Se pueden observar en la figura 5b los valores de pH obtenidos, donde estos se encuentran en la región ácida, con lo que se muestra otra ventaja al emplear CH, la cual logró *in situ* neutralizar el pH. El punto de ruptura de esta columna se alcanzó a los 30 mL en un tiempo de 15 min. El valor de la DQO alcanzada fue de 62 mg/L y el punto de agotamiento de la columna fue logrado a los 84 mL en un tiempo de 42 min; este comportamiento se puede atribuir en primer lugar al área superficial de cada adsorbente, donde en el caso del CAL el área superficial es muy grande, además de tener más poros (mesoporos y macroporos) que el CH. La tabla 5 muestra diversos parámetros que fueron calculados a partir de la curva de ruptura

**Tabla 5.** Parámetros de adsorción de LF-C sobre CAL.

Parámetro	Valor	Unidades
$V_{eff}$	84.00	mL
$q_{total}$	49.296	mg
$q_{eq}$	3.282	mg/g
$m_{total}$	64.05	g
$Y$	76.96	%

Considerando los valores de la tabla 5., en este caso se trataron 3.282 mg DQO/g de soporte en comparación con la CH que se pudieron tratar 0.9083 mg DQO/g, en ambos casos fue la concentración máxima adsorbida. Lo anterior indica que para tratar por ejemplo los 3.282 mg de DQO sería necesario utilizar 3.613 g de CH, lo que representa un ahorro de 1g de CAL y con la ventaja que con la CH se ajusta *in situ* el pH.

Finalmente considerando todo lo anterior, se resume que la DQO de entrada en el lixiviado crudo fue en promedio de  $8210 \pm 175$  mg/L, después del proceso de oxidación Fenton se redujo a  $805 \pm 36$  mg/L, con esta concentración se inició la adsorción en la primera columna empacada con CH, reduciéndose a  $542 \pm 23$  mg/L, con la segunda se redujo a  $357 \pm 19$  mg/L y finalmente con el CAL se llegó a una concentración final de  $118 \pm 4.6$  mg/L. Tomando en cuenta todo el proceso desde la oxidación Fenton, con las dos adsorciones de CH y la del CAL se obtuvo una remoción del 98.56%, cumpliéndose con un valor menor a lo especificado por la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales del 2009 con respecto a la descarga de agua en ríos, aguas costeras y suelo, la cual estipula un valor máximo permitido de descarga de DQO de 320 mg/L para cuerpos receptores tipo A correspondiente a a ríos, aguas costera y suelos (Comisión Nacional del Agua, 2009).

### Conclusiones

La materia orgánica medida como DQO disminuyó en cada una de las etapas del tratamiento; el proceso de oxidación fue la etapa en que se logró la mayor eliminación. En la etapa de adsorción sobre CH, si bien no se logró alcanzar lo especificado por la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales, se evitó el uso desde el inicio de la adsorción con CAL, por los altos costos que implica su uso, se aprovechó la CH, que además es un desecho, utilizando el CAL solo como pulimento y en un solo paso, que además, de esta manera se podría re-utilizar para el mismo caso. Además de esta manera se logró alcanzar un valor menor a lo especificado por la Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (Comisión Nacional del Agua, 2009), con respecto a la descarga de agua en ríos, aguas costeras y suelo, la cual estipula un valor máximo permitido de 320 mg/L, como se ha indicado. Lo cual sugiere que el agua al final del tratamiento puede ser empleada como fuente **de reuso** para uso público urbano o en riego agrícola, además en caso de descarga, no afecta la protección a la vida acuática (agua dulce, incluye humedales), protección a la vida acuática en aguas costeras y estuarios, siempre y cuando se tenga una certeza de que se degraden los compuestos orgánicos potencialmente tóxicos. El tratamiento completo logró una remoción del 98.56%. Al final del tratamiento el valor de pH cumplió con la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. Se realizaron otros estudios como nitrógeno total, algunos metales pesados, fósforo y la identificación de algunos compuestos recalcitrantes, que más bien fueron estudiados en el proceso Batch (Zamora-Villafranco *et. al.* 2016). El objetivo de este trabajo fue

el demostrar el reuso de la CH, que siendo un desecho, puede aprovecharse como adsorbente en columna.

## Referencias

Arami M., Limaee N.Y., Mahmoodi N.M. (2006a). Investigation on the adsorption capability of egg shell membrane towards textile dyes. *Chemosphere*, 65: 1999–2008.

Barceló I. (2013a). tratamiento del lixiviado de un relleno sanitario por oxidación avanzada.

Barceló Quintal.I.D. Zamora Villafranco E., García Albortante J. (2013b). Libro Científico Vol 1. Avances de las Mujeres en las Ciencias, las Humanidades y todas las disciplinas, ISBN 978607280066-3 Editado por Universidad Autónoma Metropolitana. Pp 110-118.

Barceló I. (2013b). Barceló Quintal I. D. Zamora Villafranco E., Uso del residuo de la cáscara de huevo para adsorber lixiviados previamente tratados por un proceso de oxidación avanzada. Memorias del 5 Congreso de Residuos Sólidos (DIRSA), Lima. Perú, mayo 22-24. Pp 1-9.

Bódalo A., Hidalgo A. M., Gómez M., Murcia M. D., Marín, V. (2007). Tecnologías de tratamiento de lixiviados de vertedero (I). *INGENIERÍA QUÍMICA*, 451, 142-149.

Chen S., Yue Q., Gao B., Li Q., Xu X., Fu K. (2012). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by modified corn stalk: A fixed-bed column study. *Bioresource Technology*, 113, 114–120.

Comisión Nacional del Agua. (2009). Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Pp. 81 y 82. Editado por Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). ISBN 978-968-(pendiente)

Han R. P., Zou L. N., Zhao X., Xu Y. F., Xu F., Li Y. L., Wang, Y. (2009). Characterization and properties of iron oxide-coated zeolite as adsorbent for removal of copper (II) from solution in fixed bed column. *Chem. Eng. J.*, 149: 123-131.

Kalyani G., Babu G., Vijaya B., Prasanna Y. (2009). Equilibrium and kinetic studies on biosorption of zinc onto *Gallus domesticus* shell powder. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4 (1): 39-49.

Karimi M., Shojaei A., Nematollahzadeh A., Abdekhodaie M.J. (2012). Column study of Cr (VI) adsorption onto

modified silica–polyacrylamide microspheres composite. *Chemical Engineering Journal*, 210: 280-288.

Kundu, S., Kavalakatt, S.S., Pal, A., Ghosh, S.K., Mandal, M., Pal, T. (2004). Removal of arsenic using hardened paste of Portland cement: *batch adsorption and column study*. *Water Res.*, 38: 3780–3790.

Diario Oficial de la Federación. NOM-AA-008-SCFI-2011

Diario Oficial de la Federación. NOM-AA-003-1980.

Diario Oficial de la Federación. NOX-AA-007-SCFI-2000.

Oguz E., Ersoy M. (2010). Removal of Cu<sup>2+</sup> from aqueous solution by adsorption in a fixed bed column and Neural Network Modelling. *Chemical Engineering Journal*. 164: 56-62.

Perkowski J., Józwiak W., Kos L., Stajszczyk P. (2006). Application of Fenton's Reagent in Detergent Separation in Highly Concentrated Water Solutions. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 14 (5), 114-119.

Ramírez-Sosa D., Castillo-Borges E., Méndez-Novelo R., Sauri-Riancho M., Barceló-Quintal M., Marrufo-Gómez J. (2013). Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton–Adsorption. *Waste Management*, 33 (2), 390-396.

Standard Methods. (1997). Standard Methods 5520 C, *American Public Health Association, Washington, USA*.

Standard Methods. (1997). Standard Methods 5520 D, *Public Health Association, Washington, USA*.

Uddin M. T., Rukanuzzaman M., Khan M. M. R., Islam, M.A. (2009). Adsorption of methylene blue from aqueous solution by jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) leaf powder: a fixed-bed column study. *J. Environ. Manage.* 90: 3443-3450.

Zamora-Villafranco., Barceló-Quintal I.D., Gómez-Salazar S., Barceló-Quintal M., Solís-Correa H., Soriano-Rodríguez M.J. (2014). Adsorption Kinetics of matter contained in a leachate using eggshell and activated carbón. *Journal Environmental Protection*. 5: 608-619. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/339/33909608.pdf>

Zamora-Villafranco., Barceló-Quintal I. D., Vega-Paz A., Solís-Correa H.E., Méndez-Novelo R.I., Giacomán-Vallejos G. (2016). Leachate Treatment by Fenton Oxidation and Adsorption on Eggshell and Activated Carbon. *British Journal of Applied Science & Technology*, 17(2): 1-18.