

## **Eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales mediante filtros intermitentes de arena/coke para reutilización.**

**Autores/Authors:** Agata Egea-Corbacho Lopera (Doctorando, Universidad de Cádiz, agata.egea@uca.es), Santiago Gutiérrez Ruiz (Doctor, Universidad de Cádiz, santiago.gutiérrez@uca.es), José María Quiroga Alonso (Catedrático, Universidad de Cádiz, josemaria.quiroga@uca.es)

### **Resumen:**

Una de las preocupaciones actuales es la detección de contaminantes emergentes, que no se encuentran legislados, y que llegan cada día a las aguas receptoras provenientes de las aguas residuales urbanas. Este trabajo presenta la eliminación de estimulantes (cafeína, teobromina, teofilina) y de antibióticos (amoxicilina y penicilina G). Los estudios se han llevado a cabo en la EDAR de Medina Sidonia (Cádiz, España). Se pretende buscar un sistema que pueda ser implantado en pequeñas poblaciones donde el personal no tenga que ser cualificado. Para ellos se ha usado un sistema de filtración intermitente utilizando cuatro sustratos distintos: el primero de arena, el segundo de arena y coque, el tercero de arena estratificada y el cuarto de coque. Además del sustrato, se ha empleado la variable del flujo, trabajando a flujos bajos, medios y altos. Estos filtros tienen dos zonas diferenciadas, zona aerobia en la parte superior y una anóxica en la parte inferior. Los resultados obtenidos nos indican que este sistema de tratamiento elimina los contaminantes estudiados en sus concentraciones máximas que puede encontrarse en el medio natural, evitando así que lleguen a las aguas receptoras.

Así mismo, otro de los problemas a los que nos enfrentamos es la escasez de agua en algunos países. El estudio de la regeneración del agua residual urbana de la EDAR de Medina Sidonia ha sido incluido. Se ha observado que el agua obtenida es un agua con la calidad requerida para ser reutilizada, obteniéndose rendimientos diferentes según el sustrato y el flujo usado.

### **Abstract:**

One of the current concerns is the detection of emerging pollutants, which are not legislated, and which arrive every day to the receiving waters from urban wastewater. This work presents the elimination of stimulants (caffeine, theobromine, theophylline) and antibiotics (amoxicillin and penicillin G). The studies have been carried out in the Medina Sidonia WWTP (Cádiz, Spain). The aim is to find a system that can be implemented in small towns where the staff does not have to be qualified. For them, an intermittent filtration system has been used using four different substrates: the first one with sand, the second with sand and coke, the third with stratified sand and the fourth with coke. In addition to the substrate, the flow variable has been used, working at low, medium and high flows. These filters have two differentiated zones, aerobic zone in the upper part and an anoxic in the lower part. The results obtained indicate that this treatment system eliminates the pollutants studied in their maximum concentrations that can be found in the natural environment, thus preventing them from reaching the receiving waters.

Likewise, another of the problems we face is the lack of water in some countries. The study of the urban wastewater regeneration of the Medina Sidonia WWTP has been included. It has been observed that the water obtained is a water with the quality required to be reused, obtaining different yields according to the substrate and the flow used.

## 1 INTRODUCCIÓN

La presencia de contaminantes emergentes es cada vez más importante en las fuentes de suministro de las aguas potables. El origen de éstos en el medio, son los vertidos de aguas residuales procedentes de las EDARs, en los cuales pueden estar presentes. Entre estas sustancias están los pesticidas, fármacos, etc, sustancias biológicamente activas sintetizadas para su uso en agricultura, medicina, etc. También es posible encontrar metales. Todas estas sustancias aparecen en las aguas naturales debido a que las tecnologías de tratamiento más comunes que se utilizan en las EDARs no tienen capacidad para eliminar este tipo de sustancias (Barceló, 2008).

Las EDARs emplean muy diversas tecnologías para la depuración de las aguas que les llegan. Así, para la eliminación de la materia orgánica, en las grandes depuradoras (depuradoras convencionales), se suelen utilizar los lodos activados, mientras que para las de pequeño tamaño (denominadas comúnmente no convencionales), entre las diversas tecnologías que se utilizan está la aireación prolongada, lagunaje, humedales, etc.

Estos tratamientos biológicos no consiguen eliminar este tipo de contaminantes por lo que uno de los problemas asociados a ellos es que además de su posible toxicidad y su escasa biodegradabilidad (en algunos casos), tienden a acumularse en el medio presentando una gran variación en sus concentraciones (Barceló, 2008).

Entre los contaminantes emergentes, el grupo de los estimulantes (cafeína, teofilina y teobromina) se encuentra en las aguas residuales urbanas (Baena-Nogueras, 2016) e incluso en aguas receptoras, en concentraciones bastante significativas (Dong, 2008). También han sido detectados en los efluentes de las WWTP y aguas receptoras otros contaminantes emergentes como los antibióticos amoxicilina y penicilina g. Los antibióticos provocan un considerable impacto ambiental, incluso a bajas concentraciones, ya que pueden provocar resistencia en bacterias y otros microorganismos. En la lista OMS de patógenos prioritarios para la I+D, el "Streptococcus pneumoniae" está catalogado como "sin sensibilidad a la penicilina".

En la actualidad se han ido adoptando progresivamente medidas legislativas para evitar la contaminación química del agua y los riesgos derivados de ésta. De momento son pocos los contaminantes emergentes que, de forma específica, se incluyen en estas legislaciones y que por tanto esté prohibida su presencia en las aguas.

Teniendo esto en cuenta, tanto si se prevé reutilizar el agua, como si se quiere verter al medio y evitar la contaminación de las fuentes de abastecimiento, se hace necesaria la eliminación de los mismos.

Para la regeneración de las aguas residuales se utiliza, principalmente, tecnologías convencionales "avanzadas" (membranas, radiación UV, procesos de oxidación avanzados, etc.), aunque para algunas aplicaciones de reutilización también pueden utilizarse tecnologías no convencionales (ej. filtros intermitentes de arena).

En el caso de utilizar tecnologías convencionales, por lo general, se obtienen buenos resultados para la mayoría de los usos incluidos en el RD 1620/2007 de reutilización de aguas. Entre las más usadas se encuentran las tecnologías de membrana.

Para el caso de que se usen tecnologías no convencionales para regenerar aguas depuradas, una de las tecnologías más usadas ha sido la filtración, la cual se ha mostrado muy eficaz para la eliminación de ciertos contaminantes.

El sistema de filtración en el que se va a llevar a cabo el presente estudio es un sistema de filtración lenta o por gravedad mediante filtros intermitentes de arena. Este proceso imita al tratamiento de filtración real que se produce en el subsuelo de la propia naturaleza, donde los procesos de filtración son llevados a cabo por la propia gravedad por lo que no se necesita aportar una energía externa para el funcionamiento de los mismos, además de no requerir la adicción de ninguna sustancia química para conseguir los efectos esperados en el agua a depurar. Dada la altura del sistema de filtración empleado en la parte superior

tendrá lugar un proceso de filtración en condiciones aerobias, mientras que en la parte inferior el proceso dado será anaerobio tal y como ocurre en la naturaleza.

Los resultados obtenidos nos indican que este sistema de tratamiento elimina los contaminantes estudiados en sus concentraciones máximas que puede encontrarse en el medio natural. Así mismo, el agua obtenida es un agua con la calidad requerida para ser reutilizada.

## 1.1 Objetivos

El objetivo principal es encontrar un tratamiento terciario eficaz para la eliminación de los estimulantes (cafeína, teofilina y teobromina) y antibióticos (amoxicilina y penicilina g) del agua residual para que no lleguen a las aguas receptoras y que la misma agua obtenida pueda ser reutilizada con el menor coste económico posible según las necesidades.

## 2 MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Estación depuradora de aguas residuales

El tratamiento terciario mediante filtros intermitentes de arena está situado en la EDAR de Medina Sidonia, municipio situado en el centro de la provincia de Cádiz (Andalucía, España). Tiene una capacidad de depuración de 17,599 hab-eq para un caudal de 2,223 m<sup>3</sup>·día<sup>-1</sup>.

Está constituida por dos líneas de tratamiento, una de aguas y otra de lodos. La línea de aguas como en casi todas las EDAR españolas se trata de una tecnología convencional formada por unidad de desbaste de gruesos y finos y un sistema de desarenado-desengrasado. El tratamiento secundario consta de un reactor biológico de aireación prolongada (Figura 1) y sedimentación secundaria. La línea de fangos consta de una deshidratación y un sistema de desodorizarían por carbón activo.



Figura 1. Reactor biológico EDAR Medina Sidonia. Foto cedida por Medina Global.

### 2.2 Sistema de filtración intermitente.

Como sistema de filtración se emplearon cuatro filtros intermitentes (Figura 2) de arena y/o coque consistente cada uno en un tubo de PVC de 30 mm de diámetro y 2.40 m de altura.

Se realizaron 12 dosificaciones diarias tomándose una muestra integrada. Para cada uno de los ensayos y filtros, se trabajó con una carga hidráulica global de 1000 lm<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>. Se tuvieron en cuenta tres caudales distintos. Como caudal bajo se usó un flujo de 330 lm<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> durante 3 días, como caudal medio 500 lm<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> durante 2 días y como caudal máximo 1000 lm<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup> durante 1 día.

En la caracterización del agua residual se detectaron concentraciones muy bajas de los contaminantes sometidos a estudio (cafeína, teobromina, teofilina, amoxicilina y penicilina g), por lo que fue necesario para mejorar las condiciones de estudio la adicción de estos contaminantes al agua residual. Para ello se añadieron a 500 litros de agua residual procedente del efluente de la EDAR la cantidad de contaminante

necesaria para que la disolución resultante tuviera una concentración similar a las encontradas en otras EDARs (Rabiet, 2006, Biel, 2018).



Figura 2. Filtros intermitentes.

El análisis de los contaminantes emergentes se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta resolución, (UPLC-MS) utilizando el equipo XEVO G2 (QTOF) con una columna BEH C18 50mm y tamaño de poro 1.7  $\mu\text{m}$  ambos de Waters (Milford, MA).

La evolución del carbono (COT) y la del nitrógeno total (NT) se midió en un analizador COT-L (CPH) con ASI-L y TN Meas. de Shimadzu.

Las determinaciones de los demás parámetros se realizaron de acuerdo con los Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas Residuales (Standard Método, 2005).

Los análisis se han realizado en las propias instalaciones de la EDAR y en los laboratorios del Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz.

Los parámetros analizados del RD 509/1996, son los siguientes:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Totales en Suspensión (STS)
- Fósforo Total (PT)
- Nitrógeno Total (NT)

Del RD 1620/2007 se han sometido a estudio:

- Escherichia Coli
- Sólidos Totales en Suspensión (STS)
- Turbidez
- Fósforo Total (PT)
- Nitrógeno Total (NT)
- Nitratos

Los parámetros nombrados a continuación no se encuentran recogidos en ninguno de los dos Reales Decretos anteriores:

- Coliformes Totales
- pH
- Conductividad
- Fosfatos
- Cloruros
- Dureza
- COT
- Amonio
- Tensioactivos
- Contaminantes emergentes a estudio

### 3 RESULTADOS

La caracterización de las aguas residuales del influente de Medina Sidonia (Tabla 1), demuestra que se trata de una población de mediano-pequeño tamaño, con poca actividad de grandes empresas y con valores de parámetros característicos de aguas residuales que permiten catalogarlos como un agua residual de contaminación media [4].

Tabla 1. Caracterización EDAR Medina Sidonia

	Promedio	
	Influente	Efluente
pH (U. pH)	7,37	7,77
CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	2,54	1,32
FOSFATOS (mgPO43-/l)	16,71	1,48
AMONIO (mgNH4+/l)	33,73	1,63
SÓLIDOS SUSPENSIÓN TOTALES (mg/l)	1054	16
SÓLIDOS VOLÁTILES (mg/l)	329	16
SÓLIDOS DECANTABLES (mg/l)	3	0
DQO (mgO2/l)	811,89	14,77
DBO5 (mgO2/l)	366,67	5,33
CLORUROS (mgCl-/l)	574,0	276,0
DUREZA (mgCaCO3/l)	332	332
TENSIOACTIVOS (mgLAS/l)	3,06	1,07
FÓSFORO TOTAL (mgP/l)	64,13	29,29
NITRÓGENO TOTAL mgN/l)	43,31	12,46
NITRATOS (mg/l)	7,49	<3,0
COT (mgC/l)	138,81	12,22
E.C. (UFC/100ml)	7*10^6	7*10^5
COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)	4*10^7	2*10^7
FAMILIA DE ESTIMULANTES (ppb)	Presencia	Presencia
FAMILIA DE ANTIBIÓTICOS (ppb)	Presencia	Presencia

Los resultados obtenidos en los ensayos con filtros permiten concluir que los sustratos filtrantes utilizados eliminan adecuadamente los contaminantes emergentes existentes en el agua residual en las condiciones de trabajo del sistema (concentraciones, tiempo de trabajo del filtro, flujos, etc).

Así mismo se comprobó que la eficiencia de depuración de los filtros cumple los requerimientos de vertido legislados (Directiva 91/271/CEE). Para los parámetros DBO5, DQO y STS se ha obtenido un alto porcentaje de remoción en todos los casos. Sin embargo, Según dispone la normativa española en materia de

reutilización de aguas residuales (RD 1620/2007), el filtro compuesto por arena y el de arena y coque generan un agua de calidad para la mayoría de los usos. Sin embargo, si se quiere disponer del agua para todos los usos recogidos en la legislación (urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental), el único sustrato que lo cumple es el filtro compuesto por coque.

#### 4 CONCLUSIONES

Los contaminantes emergentes son detectados continuamente en aguas residuales, receptoras y de consumo humano, generando una gran preocupación ambiental y de salud. Los efluentes de las EDARs han sido considerados como la fuente principal de contaminantes emergentes en las aguas receptoras. Las bajas concentraciones que presentan, las diversas propiedades y una ineficaz remoción por los tratamientos comunes hacen que se necesiten tratamiento especializados para su eliminación. La investigación de tratamientos terciarios como el uso filtros intermitentes para su eliminación ha sido satisfactoria. Además de la preocupación por la eliminación de contaminantes emergentes, existe otra ambiental como la escasez del agua, pudiendo hacerse uso del agua obtenida para casi todos los usos legislados por los filtros de arena y arena y coque, y para todos los usos del filtro de coque, ayudando en gran medida a paliar estos problemas de escasez.

#### 5 REFERENCIAS

- Baena-Nogueras R.M., Pintado-Herrera M.G., González-Mazo E. and Lara-Martin P.A. (2016). Determination of Pharmaceuticals in Coastal Systems Using Solid Phase Extraction (SPE) Followed by Ultra Performance Liquid Chromatography – tandem Mass Spectrometry (UPLC-MS/MS). *Current Analytical Chemistry*, 12, pp. 0–0.
- Barceló, D., López de Alda, M. J. (2008) Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Doc. Internet.  
URL <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/materialesdidacticos/contaminantesemergentes/barcelo.pdf> (última consulta: 2018/04/14).
- Dong, L., Min, Y., Jianying, H., Yu, Z., Hong, C., Fen, J. (2008). Determination of penicillin G and its degradation products in a penicillin production wastewater treatment plant and the receiving river. *WaterResearch* 42, pp. 307 – 317.
- Rabiet, M., Togola, A., Brissaud, F., Seidel, J.L., Budziniski, H., Ebaz-Poulichet, F. (2006). Consequences of Treated Water Recycling as Regards Pharmaceuticals and Drugs in Surface and Ground Waters of a Medium-sized Mediterranean Catchment. *Environ. Sci. Technol*, 40, pp. 5282-5288.
- Biel-Maeso, M., Baena-Nogueras, R.M., Corada-Fernández, C., Lara-Martín, P.A. (2018). Occurrence, distribution and environmental risk of pharmaceutically active compounds (PhACs) in coastal and ocean waters from the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Science of the Total Environment* 612 (2018) pp. 649–659.