

TECNOLOGÍAS PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEBIDA A VERTIDOS URBANOS

Nasly Y. Delgado Espinosa, Ingeniera Ambiental^{1,5*}

ndelgado@quimica.unlp.edu.ar

Agustín F. Navarro, Ingeniero Químico²;

Alberto Capparelli L., Dr en Ciencias Químicas³;

Gustavo A. Peñuela Mesa, Dr. en Química Ambiental⁴;

Alicia E. Ronco, Dra en Ciencias Naturales^{1,5*} - cima@quimica.unlp.edu.ar

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 47 y 115; (1900) La Plata, Argentina

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP

³División Físicoquímica, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

⁴Grupo GDCON, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

⁵Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Resumen

El calentamiento global observado durante varias décadas ha sido vinculado a cambios experimentados por el ciclo hidrológico en gran escala. La variabilidad en las precipitaciones ha generado inundaciones y sequías en numerosas áreas. Además el aumento de la temperatura del agua y las variaciones producidas por fenómenos naturales y externos afectan su calidad y agudizan su contaminación. El vertido de aguas sin tratamiento ha generado la acumulación de sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, contaminantes emergentes y sales, hasta contaminación térmica, con posibles efectos negativos sobre los ecosistemas y la salud humana, junto a la operación de los sistemas hídricos. Estos hechos han traído como consecuencia que las prácticas de gestión hídrica actuales no sean suficientemente sólidas para contrarrestar estos efectos sobre la veracidad del abastecimiento. Numerosos estudios han demostrado que tanto las plantas de purificación de agua como las depuradoras convencionales no son capaces de remover algunos contaminantes químicos, los cuales se encuentran en concentraciones muy bajas y que a largo plazo pueden causar daños en la biota acuática y la salud de las personas. Por lo tanto, las opciones de adaptación destinadas a asegurar la calidad del agua requieren estrategias integradas orientadas al suministro, tratamiento y reciclado del agua. En el presente trabajo se emplearon dos técnicas para estudiar la remoción de tres compuestos trazas emergentes representativos: carbamazepina, sildenafil y metilparabeno. En primer lugar, se estudió un sistema de biodiscos, con el cual se logró alcanzar porcentajes de remoción del metilparabeno superiores al 95%, además de eliminar el 90% de la materia orgánica presente. En los estudios de adsorción se utilizaron dos tipos de carbón activado comercial, uno granular y otro en polvo. Con el carbón granular, normalmente empleado en algunas plantas potabilizadoras, se determinó baja eficiencia de remoción para los tres compuestos, con valores inferiores al 40% y altos tiempos de contacto necesarios. El uso de carbón en polvo permitió alcanzar remociones superiores al 98% para sildenafil y del 50% para carbamazepina en 48h. El estudio de medidas de mitigación y su potencial

aplicación en procesos de depuración podría ayudar a reducir la magnitud de los efectos adversos sobre los recursos hídricos y la salud humana, con particular atención a escenarios de cambio climático.

Introducción

El estudio del clima es un campo de investigación complejo y en rápida evolución debido a la gran cantidad de factores que intervienen. Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra debido a causas naturales y también a la acción del hombre (Karl *et al*, 2009). Estos cambios afectan la disponibilidad de recursos naturales y especialmente del agua, un requerimiento básico para la vida y la salud. La demanda global de agua ha aumentado por el crecimiento poblacional y el aumento de actividades socioeconómicas; así, en cien años la población mundial se ha triplicado, pero el consumo de agua se ha multiplicado por seis. Su calidad es afectada por diferentes fuentes de contaminación; el vertido de efluentes urbanos sin tratamiento es una de las causas principales, así como la carencia de agua potable y de buenas condiciones de salubridad es la causa principal de enfermedades y muerte alrededor del planeta (Bates *et al*, 2008). Existen diferentes tecnologías convencionales para su tratamiento, pero en países en vías de desarrollo, las limitaciones económicas para su implantación hacen que el porcentaje de efluentes depurados sea bastante escaso (Peñuela y Morató, 2009). Además, se ha demostrado que estas tecnologías son poco eficientes para remover la mayor cantidad de contaminantes presentes que se han detectado recientemente gracias a nuevas y más avanzadas tecnologías analíticas. Actualmente hay alrededor de unas 100.000 sustancias potencialmente peligrosas registradas, además de aquellos nuevos compuestos de síntesis que ingresan al mercado (Petrie *et al*, 2105). Aunque las medidas adoptadas en el siglo pasado para evitar la contaminación acuática han reducido drásticamente la presencia de algunos contaminantes, el número de sustancias químicas potencialmente peligrosas que pueden alcanzar el ambiente es muy amplio, por lo que la atención en la investigación de la contaminación del agua se ha extendido a los llamados contaminantes emergentes o nuevos contaminantes, cuya presencia en el ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias de la misma, ya que algunos de estos compuestos aún no están regulados por las normativas. Dentro de ellos se encuentran los fármacos y productos de cuidado personal (PPCPs), plaguicidas, beta bloqueantes, agentes tensoactivos, entre otros (Sanz *et al*, 2009; Patiño *et al*, 2014).

Ante la evidente crisis del agua hace falta realizar una gestión adecuada que siga los principios del desarrollo sostenible. Por lo tanto, en el presente trabajo se estudiaron dos técnicas para analizar la remoción que se puede alcanzar para dos fármacos (carbamazepina y sildenafil) y un producto de cuidado personal (metilparabeno), seleccionados debido a su representatividad en las aguas superficiales (Elorriaga *et al*, 2013; García *et al*, 2012:), además de mantener altas eficiencias de remoción de la carga orgánica. Como tratamiento secundario se eligió un sistema de biodiscos y para tratamiento terciario se

analizó la cinética de adsorción del carbón activado, como material potencial para la construcción de columnas de adsorción.

Objetivos

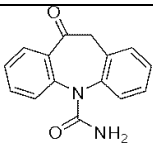
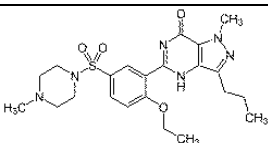
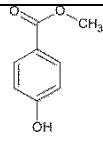
Estudiar tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua residual urbana, con el fin de optimizar los procesos de depuración y contribuir a potenciar su implantación en pequeñas comunidades, generando estrategias de adaptación frente al cambio climático y mitigación de las problemáticas socioambientales.

Materiales y métodos

Contaminantes emergentes

Los compuestos utilizados fueron carbamazepina, sildenafil y metilparabeno de calidad farmacopea. En la Tabla I se muestran las características fisicoquímicas de los tres compuestos. Se prepararon soluciones *stock* de 1.000 mg/L, a partir de las cuales se tomaron los volúmenes necesarios para experimentos de calibración, adsorción y biodegradación.

Tabla I. Propiedades fisicoquímicas de los contaminantes emergentes

Propiedades	Carbamazepina	Citrato de sildenafil	Metilparabeno
Estructura molecular			
Log K _{ow}	2,45	2,5	1,96
K _{oc}	510	27,000	280
H (atm-Cu m.mol ⁻¹)	1,08 x 10 ⁻⁷	7,2 x 10 ⁻²¹	2,23 x 10 ⁻⁹

Estudios de biodegradación

Se trabajó un sistema de biodiscos a escala piloto similar a los encontrados a escala real. Consiste de veinte discos de acrílico, unidos a través de un eje central que los atraviesa longitudinalmente y contenidos en una pileta de acrílico de 20 L. Un moto reductor de 0,25 HP es el encargado de mantenerlos en movimiento, girando a 1,5 rpm. Completan el sistema una bomba centrífuga, utilizada para la carga del efluente y dos tanques de alimentación (Fig.1a). El efluente consistió en un agua residual sintética preparada según norma ISO (2004). Se inyectaron concentraciones de 200 µg/L de cada PPCPs, para ensayos individuales con una DQO afluente de 300 mg/L. La remoción se determinó en el laboratorio sobre muestras extraídas a diferentes tiempos de la operación, mediante análisis de cromatografía líquida acoplado a masas.

Estudios de adsorción

Se utilizó carbón activado granular comercial tamiz 29 y carbón funcionalizado en polvo. Para los estudios de cinética se utilizó agua destilada con 100 mg/L de adsorbente. Concentraciones de 40 mg/L de soluto fueron agregadas en 50 mL de la solución y medidas en diferentes tiempos, hasta alcanzar el equilibrio. La solución se mantuvo a temperatura constante de 25 °C y agitación de 90 rpm. El proceso de adsorción fue monitoreado en un espectrofotómetro UV/Vis.

Resultados

Estudios de biodegradación

El sistema de biodiscos es un tratamiento biológico secundario, usado principalmente para eliminar la materia orgánica soluble y coloidal presente en el agua residual, bajo condiciones aeróbicas (Fig. 1a).

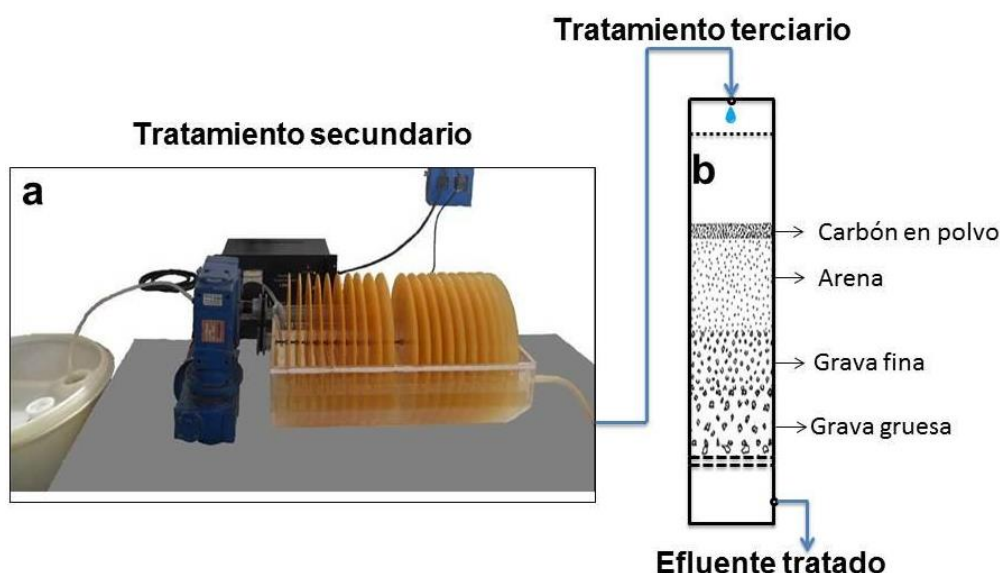


Figura 1. Sistema de tratamiento para aguas residuales urbanas (a) biodiscos a escala piloto y (b) diseño de la columna de adsorción.

En este trabajo se determinó que el sistema de biodiscos es capaz de alcanzar porcentajes de remoción superiores al 95% para el metilparabeno desde la primera toma de muestras, con tiempos de retención de 5 h. En el caso de los fármacos, las eficiencias fueron inferiores al 20% después de alcanzar condiciones de estabilidad (Fig. 2a). La eliminación de materia orgánica fue superior al 90% (Fig. 2b). Aunque para los fármacos no se alcanzaron buenas eficiencias de eliminación, es de destacar que la incorporación de los mismos no afectó la capacidad operativa del reactor. En este proceso se evidenció la capacidad bacteriana para degradar compuestos de estructura molecular simple.

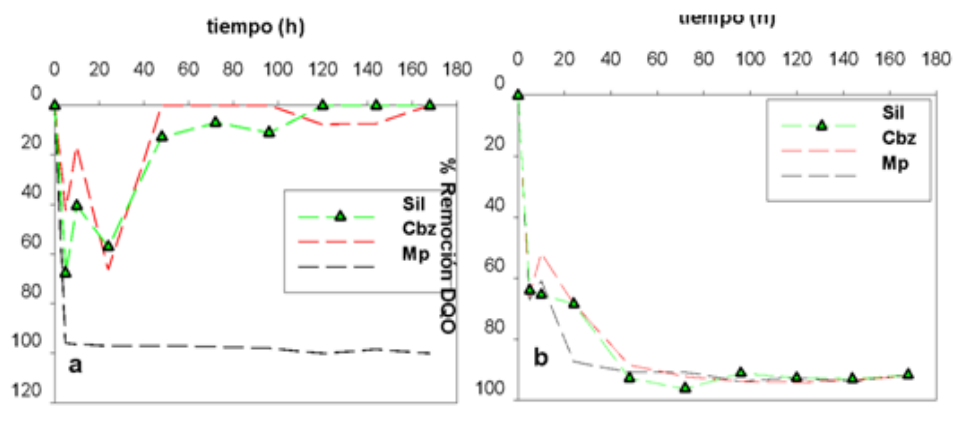


Figura 2. Porcentajes de remoción del sistema de biodiscos en función del tiempo para (a) metilparabeno, carbamazepina y sildenafil y (b) eficiencias de eliminación de la materia orgánica medida como DQO, al inyectar cada contaminante emergente.

Estudios de adsorción

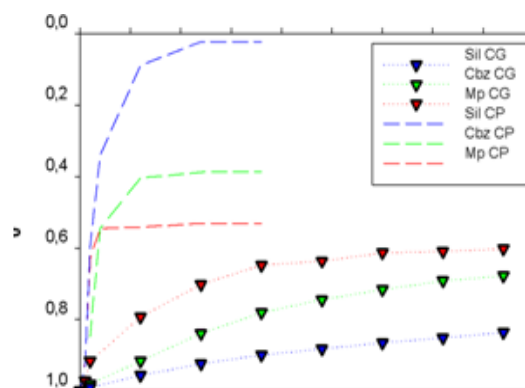
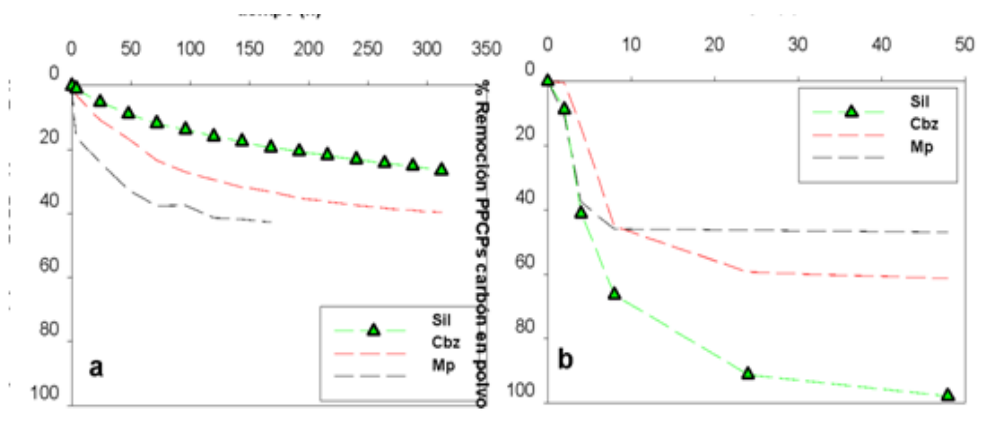
Los procesos de adsorción son una de las técnicas más estudiadas para el tratamiento de aguas, especialmente para la eliminación de contaminantes orgánicos. Los adsorbentes más empleados son los carbones activados: carbón activado granular (GAC) o carbón activado en polvo (PAC), su principal ventaja es que no generan productos tóxicos y poseen una elevada capacidad de adsorción (Estevinho et al, 2007). Así, después de estudiar los biodiscos, estos dos tipos de adsorbentes fueron analizados para determinar su eficiencia de remoción sobre los contaminantes emergentes, principalmente para los fármacos, ya que el metilparabeno es removido casi en su totalidad en los biodiscos, aunque se estudió en los procesos de adsorción con el fin de remover trazas que puedan quedar después del tratamiento secundario.

El carbón granular, que es el más comúnmente usado en las plantas potabilizadoras, alcanzó porcentajes de remoción inferiores al 50%, con tiempos de contacto de 168 h para metilparabeno y superiores a 300 h para carbamazepina y sildenafil (Fig.3a). El uso de carbón granular en las plantas potabilizadoras debe ser reconsiderado, ya que como se pudo determinar, no resulta ser muy eficiente para remover compuestos emergentes.

La persistencia de estos contaminantes se debe a que por sus características fisicoquímicas (Tabla I) presentan fácil movilidad en el agua, ya que no se adhieren a tejidos grasos, ni a sedimentos y tampoco son volátiles.

Con el carbón en polvo se mejoraron los tiempos de contacto y eficiencias de remoción. Para sildenafil la eficiencia fue superior al 90%, para carbamazepina del 60%, después de 24 h y para metilparabeno se alcanzaron eficiencias del 48% a las 8h (Fig. 3b).

Como se puede observar en la Fig. 4 y teniendo en cuenta los resultados anteriores, la cinética de adsorción mejoró considerablemente al usar carbón en polvo, alcanzando el equilibrio en tiempos inferiores a 72 h, mientras que con el carbón granular después de 168 h.



Como se analizó en este trabajo, se logra tener una buena calidad del agua después de usar un sistema de biodiscos, el cual ayuda a remover además de la materia orgánica, compuestos trazas de estructura molecular simple, baja generación de lodos, al tener una película fija y escasa propagación de vectores y malos olores, ya que es un sistema aeróbico. Como se observa en la Figura. 1, el combinar un tratamiento terciario usando un sistema de adsorción de lecho fijo con carbón en polvo (Fig. 1b), puede ayudar a mejorar la calidad del agua, ya que en éste se remueven considerablemente compuestos trazas de estructuras más complejas, que no son capaces de ser degradados en el tratamiento biológico. Esta combinación resulta ser simple y adecuada para pequeñas comunidades y de bajo costo, se evita el uso de aditivos químicos y se reduce la generación de subproductos y otros residuos. Implementar estas tecnologías contribuye al aseguramiento, la preservación y la mejora de la calidad de los recursos de agua, la salud pública y el medio ambiente, fomentando a la vez el desarrollo sostenible.

Conclusiones

Los estudios experimentales realizados aportan información de base para lograr soluciones técnicas a problemas de contaminación por compuestos emergentes representativos en aguas servidas, acompañando la reducción de la propia carga orgánica de este tipo de efluentes. El sistema propuesto puede ser implementado en pequeñas comunidades, contribuyendo a minimizar impactos adversos en sistemas hídricos, con soluciones adecuadas y accesibles. Teniendo en cuenta el agravamiento que determina la presencia de contaminantes en ecosistemas acuáticos en escenarios de cambio climático, el aporte de herramientas simples y de bajo costo permite implementar estrategias para una mejora en la calidad de vida y adaptabilidad frente a estos cambios.

Palabras clave: biodiscos * adsorción * contaminantes emergentes.

Referencias bibliográficas

- Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JP, El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 2008.
- Elorriaga Y, Marino D, Carriquiriborde P, Ronco A, Human pharmaceuticals in wastewaters from urbanized areas of Argentina, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2013; 90: 397.
- Estevinho BN, Martins I, Ratola N, Alves A, Santos L, Removal of 2,4-dichlorophenol and pentachlorophenol from waters by sorption using coal fly ash from a Portuguese thermal power plant, *J. Hazard. Mater.* 2007; 143: 533
- Gracia Lor E, Martínez M, Sancho JV, Peñuela G, Hernández F. Multi-class determination of personal care products and pharmaceuticals in environmental and wastewater samples by ultra-high performance liquid-chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta.* 2012; 99: 1011- 23
- ISO 11733, Water quality - Determination of the elimination and biodegradability of organic compounds in an aqueous medium - Activated sludge simulation test, International Organization for Standardization, Genève, 2004.
- Karl T, Melillo J, Peterson T. *Global climate change Impacts in the United States*, Cambridge University Press, New York, 2009.
- Patiño Y, Díaz E, Ordóñez S, Microcontaminantes emergentes en aguas: tipos y sistemas de tratamiento, *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2014, 5: 1-19.
- Peñuela G., Morató J, *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*, Red ALFA TECSPAR, Catalunya, 2009.
- Petrie B, Barden R, Kasprzyk B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring, *Water Res.* 2015; 72: 3-27
- Sanz A, Payá A, González M, Mártire D, *Procesos químicos y fotoquímicos ambientales benignos para la degradación de efluentes acuosos industriales*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2009.