

PROCESOS FISICOQUIMICOS PARA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA (BREVE REVISIÓN)

Alicia Irene Alvarado de la Peña, Dora Magdalena Antuna, María Guadalupe Reyes-Navarrete, Alfonso García-Vargas, Elisa del Carmen Vázquez-Alarcón, Laura Silvia González-Valdez, José Bernardo Proal-Nájera, Manuel Quintos-Escalante.

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional. Sigma 119, Fraccionamiento 20 de Noviembre II. Durango, Dgo. C.P. 34220. Becarios COFAA

RESUMEN

El tratamiento de aguas contaminadas por las diversas actividades del hombre y de forma natural, es importante para el desarrollo sustentable de una comunidad. En México cada vez más poblaciones cuentan con plantas de tratamiento de sus aguas residuales y con potabilización de agua, sin embargo faltan esfuerzos para lograr que se cumplan los parámetros de calidad del agua establecidos en la normatividad, en la mayoría de las ciudades y/o localidades. El tratamiento de aguas residuales generalmente se realiza en cuatro etapas: pretratamiento, tratamiento primario o físico, tratamiento secundario o biológico y el tratamiento terciario o avanzado, este último permite la depuración de compuestos químicos inorgánicos tóxicos y microorganismos infecciosos. Respecto a los compuestos inorgánicos, se tiene particular interés en los metales pesados, que representan daños severos a la salud humana. Actualmente existen diversos métodos de remoción de estos contaminantes, algunos de ellos muy estudiados y otros en vías de investigación. Los más convencionales son los de tipo fisicoquímico como: adsorción, intercambio iónico, coagulación y procesos de membrana, entre otros. La elección del método deberá considerar las características del agua a tratar, la eficiencia, simplicidad y costos del tratamiento.

PALABRAS CLAVE: remoción, contaminantes, procesos fisicoquímicos

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento de la población y la demanda de servicios así como las emisiones y descargas de contaminantes industriales genera una problemática ambiental que va en aumento (Tyler, 2004). Específicamente en el caso del agua, el desafío que supone mejorar su calidad mediante la rehabilitación y la protección de lagos, arroyos, reservorios, humedales y las masas de aguas superficiales relacionadas, constituye un motivo de creciente preocupación mundial, reflejado en el informe mundial de la ONU (2009).

En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales (WWAP, 2006). En México, según cifras de la Comisión Nacional del Agua (CNA), tan sólo el 25% de las aguas residuales son tratadas; es decir, no se descontaminan 3 de cada 4 litros de agua. Más alarmante aún es que tanto aguas tratadas como no tratadas se descargan a ríos y lagos (Carabias et al., 2005). Un dato de la SEMARNAT (2005), menciona que durante el año 2003, las industrias en todo el país descargaron alrededor de 258 m³/s de aguas residuales. En el tratamiento de aguas contaminadas se han implementado procesos biológicos, fitoquímicos y fisicoquímicos para la remoción de contaminantes, con diferencias entre ellos en cuanto a factibilidad técnica y económica.

TRATAMIENTO DE AGUA

Existe una cantidad considerable de procesos para el tratamiento de agua, los cuales se pueden clasificar en tres categorías: biológicos, físicos y químicos (Gray 1999; Arellano 2002).

Niveles de Tratamientos

El agua se puede someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación requerido. En general se clasifican como pretratamiento y tratamientos Primario, Secundario y Avanzado, este último implica procesos fisicoquímicos o fitoquímicos que se emplean para la remoción de compuestos químicos inorgánicos.

TRATAMIENTOS TERCIARIOS

Procesos fisicoquímicos

Las tecnologías convencionales en el tratamiento terciario, para la remoción de contaminantes presentes en el agua, son de tipo fisicoquímico. Entre ellas se encuentran:

Ósmosis Inversa: Proceso de forzar un disolvente de una región de alta concentración de solutos a través de una membrana a una región de baja concentración de solutos mediante la aplicación de un exceso de presión osmótica (Bakalar et al, 2009).

Ultrafiltración. Proceso que permite la remoción de partículas de 0.005 -0.1 μm a través de una membrana microporosa a presiones superiores a 3000 kPa. Usada para remover y reciclar material coloidal incluyendo tintes, aceites, pinturas, y aun proteínas del queso y suero de aguas residuales. También es capaz de remover pequeños microorganismos incluyendo virus (Cartwright, 2010).

Microfiltración: Similar a la ultrafiltración excepto que es utilizada para recuperar partículas de 0.1 a 5 μm a presiones de 100-400 kPa. Ampliamente usada en la industria de alimentos. Los Filtros microporosos pueden ser también utilizados en la desinfección de aguas y efluentes (Harms, 1987; Cartwright, 2010).

Adsorción: Se refiere a la propiedad de algunos materiales de fijar en su superficie moléculas extraídas de la fase líquida o gaseosa en contacto con éstos. La adsorción se lleva a cabo mediante tres mecanismos: 1) Fijación por fuerzas de Van Der Waals, 2) Adsorción química entre grupos de diferente polaridad y 3) Acción biológica, debido al crecimiento bacteriano sobre el lecho carbonoso. Existe una gran variedad de adsorbentes químicos, naturales y hasta residuos industriales. Los materiales más ampliamente utilizados son el carbón activado, alúmina activada, resinas sintéticas y los hidróxidos de hierro y aluminio (Castro, 2005; McNeil & Edwards 1997; Mohan & Pittman 2007; Yunhai et al., 2008).

Neutralización: El agua se mezcla con un ácido o con una base para acercar el pH a un valor neutro, también se utiliza este proceso para proteger otros procesos de tratamiento. Es ampliamente utilizado en industria química, farmacéutica y de pinturas (Harms, 1987; Castro, 2005)

Precipitación: Componentes inorgánicos pueden ser removidos por la adición de un ácido o una base que propicia la formación de partículas preparadas para precipitar. Estos precipitados pueden ser removidos por sedimentación, flotación o coagulación (Harms, 1987; Soto et al., 2006).

Intercambio iónico: Consiste en un sólido intercambiador, el cual es una materia porosa con cargas eléctricas en su superficie. Funciona cambiando iones de compuestos inorgánicos, ya sea mediante fuerzas electrostáticas o químicas. Las sustancias más utilizadas son arcillas hidratadas, compuestos poliméricos sintéticos como las resinas de intercambio iónico. Con frecuencia es considerado una forma especial de adsorción. El proceso finaliza cuando se equilibra la concentración de especies que se quiere remover en la disolución y la concentración en el intercambiador; algunas veces el proceso es reversible (Caballero et al, 2003; Marín, 2003).

Oxidación-Reducción: Materiales orgánicos e inorgánicos de procesos industriales pueden ser menos tóxicos o menos volátiles por la sustracción o adición de electrones entre los reactantes. Los métodos más comunes de oxidación son por aireación, ozonación, adición de reactivos químicos como cloro, dióxido de cloro, permanganato de potasio, entre otros, también es posible la oxidación catalítica y la oxidación biológica (Malik, 2009; Caballero et al., 2003).

Estos métodos muestran ventajas y limitantes, Kurniawan (2006) menciona que para seleccionar el proceso a emplear se deben considerar factores como la aplicabilidad de la técnica, su simplicidad y que sea costo-eficiente. En la Tabla 2 se muestra de forma general las ventajas y desventajas de algunas técnicas fisicoquímicas convencionales.

CONSIDERACIONES FINALES

Debido a que va en aumento la demanda del recurso agua, debe gestionarse de manera sustentable, es por ello la necesidad de utilizar tratamientos ya sea para reúso o vertido en cuerpos de agua y disminuir los efectos de contaminación.

Existen diversos procesos para el tratamiento del agua. Los tratamientos terciarios constituyen una alternativa viable para elevar la calidad del agua destinada al uso y consumo humano.

Es importante para la elección del tratamiento a utilizar, considerar factores importantes, como el tipo de contaminante a remover, simplicidad, eficiencia técnica y económica.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de métodos fisicoquímicos para la remoción de contaminantes inorgánicos en el agua

Técnica	Ventajas	Desventajas
Oxidación-precipitación	Proceso relativamente simple Implica procesos de bajos costos La remoción puede ser in situ Puede remover otros contaminantes	Proceso lento, para acelerarlo se requieren más costos de operación. Estricto control del pH
Aireación		Corrosión en el sistema
Oxidación química	Proceso relativamente simple y rápido Oxida otros contaminantes y mata microorganismos Genera un mínimo de sólidos residuales	Pérdida de poder oxidante con el tiempo Los productos secundarios pueden interferir con la operación
Precipitación/coagulación		
Coagulación con Aluminio	Agente coagulante disponible y económico Costo de capital y operación bajo Operación simple Efectivo en un rango amplio de pH	Bajas eficiencias de remoción Producción de lodos tóxicos
Coagulación con Fierro	Agente coagulante disponible y económico Más eficiente que el aluminio	Sedimentación y filtración necesaria
Adsorción		
Alúmina activada	Comercialmente disponible Remociones eficientes El adsorbente puede ser regenerado in situ para extender su vida útil	Necesita remplazarse después de cuatro o cinco regeneraciones Requiere de oxidación previa
Compuestos de fierro	Relativamente económico Altas eficiencias de remoción Puede remover otros contaminantes	Producción de residuos sólidos tóxicos Requiere valores bajos de pH Costos altos
Intercambio iónico	Remoción independiente del pH El adsorbente puede ser regenerado in situ para extender su vida útil Comercialmente disponible Resinas específicas para cada ion	La regeneración de resinas crea problemas de disposición de lodos Requiere oxidación previa Los sulfatos, nitratos y sólidos disueltos reducen la eficiencia de remoción Costos altos de operación y mantenimiento
Separación por membranas	Eficiencias altas de remoción Independiente del pH No producen residuos sólidos tóxicos	Altos costos de operación Altos costos de inversión Bajas tasas de recuperación de agua

(Fuente: Castro, 2005, Mohan et al., 2007 y Malik et al., 2009)

BIBLIOGRAFÍA

- Bakalár T., Búgel M., Gajdošová L. (2009). Heavy metal removal using reverse osmosis. *Acta Montanistica Slovaca Ročník*. 14:250-253.
- Caballero, P., Gail, S., Garrido, M., Lage, G., Vilela, B. (2003). Técnicas de tratamientos de Agua. Primera edición del premio Miliarum al mejor trabajo Universitario. Tercer Curso de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Autónoma de Madrid.
- Carabias J. & Landa R. (2005) Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Autónoma de México, 1ª ed. 15-19, 30-31
- Castro M. L. (2005). Remoción de arsénico en el agua de bebida y biorremediación de suelos. Hojas de divulgación técnica. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 96:2-5
- Cartwright P. S. (2010). Tratamiento y reuso del agua en aplicaciones comerciales/industriales. *Agua Latinoamericana*. 9:1-5.
- Gray N. F. (1999). *Water Technology. An introduction for Scientists and Engineers*. Ed. Arnold, New York-Toronto, pp 1-10.
- Harms, L.L. (1987). Chemicals in the water treatment process. *Water engineering & management*; 134(3):32-4.
- Kurniawan T., Chan G., Lo W. and Babel S. (2006). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical engineering journal*. 18:83-98.
- Malik A., Khan Z., Mahmood Q., Nasreen S. and Bhatti A. (2009). Perspectives of low cost arsenic remediation of drinking water in Pakistan and others countries. *Journal of hazardous materials*. 168:1-12.
- Marín R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. pp 3-29, 140-148.
- McNeil L. & Edwards M. (1997) Predicting As removal during metal hydroxide precipitation. *Journal AWWA*. 89:75-78.

Mohan D. & Pittman Ch. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents- a critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 142:2-3

ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2009. 3º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua en mundo de cambio. <http://www.unesco.org/water/wwap>

SEMARNAT (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>

Soto E., Miranda R. y Sosa C. (2006). Optimización del proceso de remoción de metales pesados de agua residual de la industria galvánica por precipitación química. *Información tecnológica*. La Serena 17.

Tyler-Miller G. (2004). *Ciencia Ambiental. Preservemos la Tierra*. Thomson Ed. 5ª ed. México, pp. 334-335.

Yunhai W., Xuhong M., Maowu F y Minmin L. (2008). Behavior of Chromium and arsenic on activated carbon. *Journal of hazardous materials*. 159: 380-384