

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO

Ana Patricia Gaytán Alarcón^a, Ma. Teresa Alarcón Herrera^b, Rafael Lucho Chigo^a, Luis Armando de la Peña Arellano^a,
María Dolores Josefina Rodríguez Rosales^a

^a División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Durango, Felipe Pescador 1803 Ote. Nueva Vizcaya, Durango, Durango, C.P. 34080, México. paty_107@hotmail.com

^b Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV), Victoria 147 Nte. Zona centro, Durango, Durango, C.P. 34000, México.

Resumen

En México al igual que en muchos otros países, la contaminación geogénica por arsénico (As) en el agua de abastecimiento público está afectando la salud de millones de personas expuestas. Debido a ello, la búsqueda de alternativas tecnológicas de remoción del metaloide del agua es una prioridad a nivel mundial. Por lo que es inminente el desarrollo de nuevos procesos para la remoción del metaloide del agua que permitan obtener la calidad requerida para consumo humano. La presente investigación tiene como finalidad evaluar la factibilidad técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea utilizando nano partículas de TiO₂ como catalizador, activado por luz solar y cloruro férrico para la precipitación y separación del metaloide del agua. La determinación del tiempo de exposición y la cantidad óptima de hierro se llevó a cabo por un diseño de experimentos kⁿ. Los resultados muestran que con cantidades de 12.5mg/L de Fe, y tiempos de exposición a la luz solar de 1 h, es posible reducir la concentración de arsénico del agua desde 90µg de As/L a menos de 25µg de As/L requeridos por la normatividad mexicana para la calidad de agua potable. Concluyendo que el proceso de fotocátalisis heterogénea es técnicamente viable y una alternativa de bajo costo para la obtención de agua apta para consumo humano.

Introducción

El arsénico es un contaminante ampliamente distribuido en la corteza terrestre, siendo la ingesta de agua con altas concentraciones del mismo una problemática a nivel mundial [1]. En México, se han detectado altas concentraciones de este contaminante en el agua de consumo humano, sobre todo en acuíferos de Durango, Coahuila, Zacatecas, Morelos, Aguascalientes, Chihuahua, Puebla, Nuevo León, Guanajuato, San Luis Potosí, Sonora y la Región Lagunera, con concentraciones superiores a lo señalado por la NOM-127-SSA1 (0.025 mg As/L) [2][3]. Entre las principales afectaciones a la salud, se encuentra el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), el cual puede originar algún tipo de cáncer. Dada la magnitud de la problemática a nivel mundial y local, en los últimos años, se ha intensificado la búsqueda de tecnologías para la remoción de arsénico del agua destinada a consumo humano, entre estas tecnologías se encuentran los procesos avanzados de oxidación (PAO), que incluyen la fotocátalisis heterogénea, proceso en el que se centra este estudio, el cual se basa en la absorción directa o indirecta de energía radiante (visible o UV) por un sólido (que normalmente es un semiconductor de banda ancha). En la región interfacial entre sólido excitado y la solución tienen lugar las reacciones de destrucción o de remoción de los contaminantes, sin que el catalizador sufra cambios químicos[4]. Entre las ventajas del uso de nano partículas de TiO₂ como catalizador se encuentra, el aumento del área superficial, así como sus propiedades ópticas y electrónicas y baja toxicidad química. El objetivo de este trabajo tiene como finalidad evaluar la factibilidad técnica del proceso de fotocátalisis heterogénea utilizando nano partículas de TiO₂ como catalizador, activado por luz solar y cloruro férrico para la precipitación y separación del metaloide del agua.

Metodología

Muestreo y Caracterización: Se analizó la información de los pozos de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Durango, la ubicación, y el estado actual de las concentraciones de arsénico, con la finalidad de seleccionar el pozo de agua con alto contenido de arsénico para el desarrollo de esta investigación. El procedimiento de muestreo y la caracterización del agua se realizaron siguiendo los métodos estandarizados basados en la normatividad mexicana. Los parámetros a caracterizar fueron los siguientes: pH, conductividad, alcalinidad, dureza, arsénico, fierro, flúor, cloruros, nitratos y sulfatos. Los equipos utilizados para la caracterización de agua fueron los siguientes: para las mediciones de pH se determinaron mediante un equipo Hanna Instruments pH213, conductividad equipo Hach sensION5, la alcalinidad, dureza y cloruros se determinaron por el método de titulación, flúor usando el método del ion selectivo con un equipo Orion modelo 1260, los nitratos y sulfatos mediante espectrofotometría usando el equipo Hach DR/2010. La determinación de As y Fe en las diferentes muestras del experimento, se llevaron a cabo mediante el método de espectrofotometría de fluorescencia atómica Millennium system, previa digestión acida en un equipo de microondas Mileston ETHOS EASY.

Parámetro	Unidad	Valor	Método empleado	Valor NOM 127 SSA1 1994
pH	unidades de pH	8.07	Potenciométrico	6.5- 8.5
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}^2$	237.33	Conductimétrico	NA
Alcalinidad	mg/L CaCO_3	90.34	Titulométrico	NA
Dureza	mg/L CaCO_3	78.7	Titulométrico	Dureza como CaCO_3 500 mg/L
Hierro	mg /L	Nd	ICP	0.30 mg/L
Arsénico	mg/ L	0.090	ICP-Generador de hidruros	0.025 mg/L
Fluoruros	mg/L F ⁻	3.09	Método ion selectivo	1.5 mg/L
Sulfatos	mg /L SO_4^{2-}	18	HACH DR/2010 (método 8051)	400 mg/L como SO_4^{2-}
Cloruros	mg/L Cl	35.45	Titulométrico	250 mg/L
Nitratos	mg/L NO_3^- N	1.43	Hach Dr/2010 (método 8171)	10 mg/L Nitratos (como N)
	mg/L NO_3^-	6.4		

Figura 1 Caracterización del agua a tratar

Procedimiento de impregnación: La técnica de impregnación del TiO_2 en botellas PET utilizada fue la desarrollado por Meichtry et al. (2007) [5], para lo cual en botellas PET transparentes de 600 mL previamente lavadas, llevadas a ultrasonido por 30 min y secas a peso constante, se les vació una solución de TiO_2 al 2%, acidificada a un pH de 2.5 con ácido perclórico (HClO_4), después la botella se agitó y se rodo lo suficiente para obtener una película delgada y homogénea que revistiera toda la pared de la botella, se dejó la botella invertida, esto con la finalidad de extraer la solución remanente y por último se dejó secar la botella a temperatura ambiente por 24 horas resultando en una película delgada semitransparente y homogénea como se muestra en la figura 2. Los reactivos utilizados para la preparación de la solución fueron de grado analítico y el tipo de nano partícula de TiO_2 el Aeroxide P25 (Sigma-Aldrich®) con un tamaño de partícula primario de 21 nm.

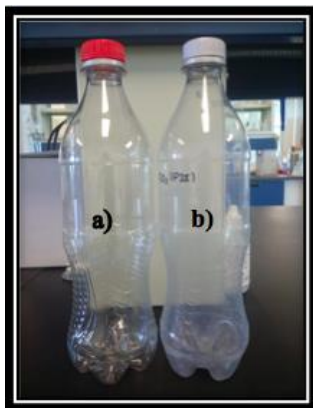


Figura 2 a) Botella sin impregnar b) Botella después del procedimiento de impregnación

Tratamiento: Después del recubrimiento de las botellas se procedió a realizar las pruebas para determinar los rangos de operación óptimos del proceso, mediante un diseño de experimentos 3^2 , con las variables de Fe (III) en forma de FeCl_3 y tiempo de exposición a la radiación solar y como variable de respuesta la eficiencia de remoción de arsénico. Además se obtuvieron mediciones de intensidad de radiación ultravioleta tipo UV-A y UV-B, en el sitio de experimentación mediante radiómetros UVS-A-T y UVS-B-T respectivamente, así como datos de parámetros atmosféricos de temperatura, humedad, dirección del viento, radiación global y precipitaciones, mediante un equipo Vantage PRO2. Los valores obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante el software JMP10®.



Figura 3 a) Radiómetros en el sitio de experimentación b) Estación meteorológica c) Tratamiento en botellas

Resultados

Los resultados obtenidos al tratar el agua de pozo mediante el proceso de fotocatalisis heterogénea con nano partículas de TiO_2 en presencia de sales de hierro demuestran una buena eficiencia de remoción del arsénico hasta niveles por debajo de los establecidos en la normatividad mexicana. Para determinar la dosis óptima de FeCl_3 y tiempo de exposición a la radiación solar se utilizó un diseño de experimentos 3^2 , el cual arrojó que la cantidad de FeCl_3 adicionada influye significativamente en el proceso mientras que el tiempo de exposición no, sin embargo a mayor concentración de FeCl_3 y tiempo de exposición a la radiación solar hay mayor eficiencia de remoción de arsénico. En las figuras 4 y 5 se muestra un perfil de superficie y un perfil de interacción de las variables, donde se observa lo mencionado anteriormente.

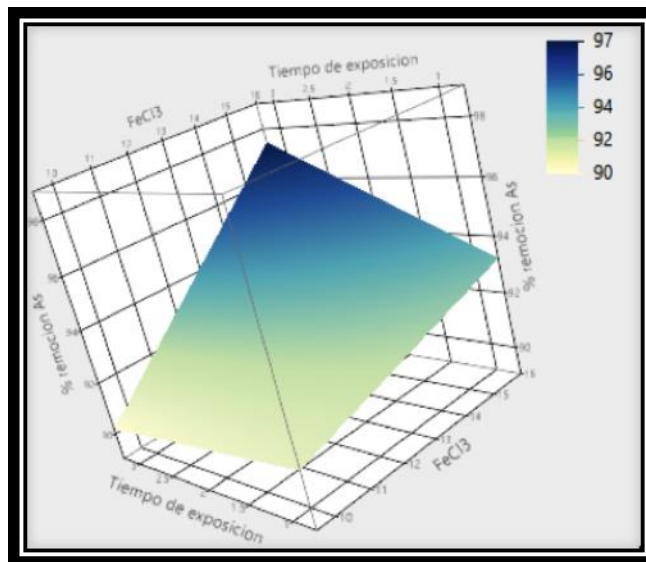


Figura 4 Remoción de arsénico en función de la concentración de FeCl_3 y tiempo de exposición a la radiación solar

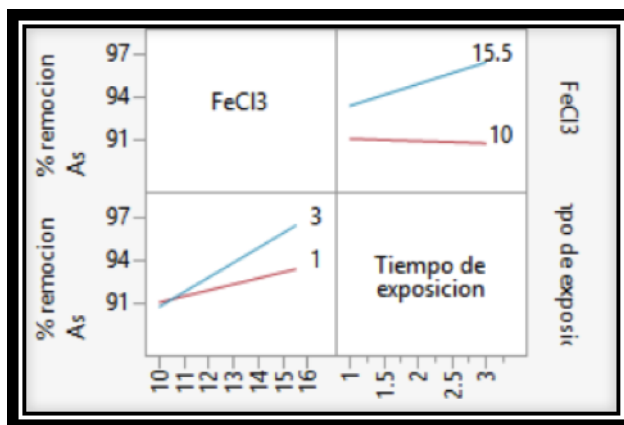


Figura 5 Perfiles de interacciones de las variables estudiadas

Conclusiones

Mediante el proceso de fotocatalisis heterogénea se logró un porcentaje de remoción de hasta el 98%, también cabe recalcar que a las menores concentraciones y tiempos de exposición más bajos también se logró obtener un buen porcentaje de remoción, concluyendo que este proceso es técnicamente viable para la oxidación y remoción de altas concentraciones de arsénico presentes en el agua de pozo de la ciudad de Durango, obteniendo agua tratada que cumple con la normatividad mexicana establecida, en cuanto a límites máximos permisibles de este contaminante en el agua de consumo humano.

Referencias

- [1] M. I. Bundschuh, J., Pérez Carrera, A., & Litter. Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. 2008.
- [2] SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127- SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización," *Diario Oficial de la Federacion*, 2000. .

- [3] J. Bundschuh, M. I. Litter, F. Parvez, G. Román-Ross, H. B. Nicolli, J.-S. Jean, C.-W. Liu, D. López, M. a Armienta, L. R. G. Guilherme, A. G. Cuevas, L. Cornejo, L. Cumbal, and R. Toujaguez, "One century of arsenic exposure in Latin America: a review of history and occurrence from 14 countries.," *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 2–35, Jul. 2012.
- [4] X. Domènech, W. F. Jardim, and M. I. Litter, "Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes," *Elimin. Contam. por Fotocatálisis Heterogénea*, pp. 3–26, 2001.
- [5] M. I. Meichtry, J. M., Lin, H. J., de la Fuente, L., Levy, I. K., Gautier, E. A., Blesa, M. A., & Litter, "Low-cost TiO₂ photocatalytic technology for water potabilization in plastic bottles for isolated regions. Photocatalyst fixation.," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 129(1), pp. 119–126, 2007.