



ENVIRONMENTAL IMPACT BY THE USE OF REVERSE OSMOSIS IN ARSENIC REMOVAL TO OBTAIN DRINKING WATER

IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR EL USO DE OSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE

Olmos, M.A. , Alarcón Herrera M.T.*

Dr. Mario Alberto Olmos Márquez. *Profesor, Maestría en Ecología, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, mario.olmos@cimav.edu.mx*

Alarcón-Herrera, M. T*.

Ph.D. Ma. Teresa Alarcón-Herrera, *Prof. e Investigadora Titular C, Dpto. Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente, CIMAV*
Corresponding author: teresa.alarcon@cimav.edu.mx

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV)
Ave. Miguel de Cervantes 120, C. P. 31109, Complejo Industrial Chihuahua
Chihuahua, Chihuahua, México
Tel: +52 (614) 439 1100, Fax: +52 (614) 439 4884 Ext. 1121

Abstract

More than 300 reverse osmosis systems (POI) have been installed in 273 communities, in the State of Chihuahua. POI, concentrate the contaminant in the wastewater. Inappropriate disposal of such wastes is generating environmental problems in soil and surface water. The present study is aimed to analyze the environmental impact of the wastewater disposal on agricultural land. The study reveals high amounts of As in wastewater and its inappropriate disposition in several villages. Results indicated that 58% of wastewater is discharged in the sewer systems, 18% is used for agricultural irrigation. Disposal in agricultural land concentrates the metalloid on the surface, with a saturation velocities of up to 23 days /m². Constructed wetlands are proposed as alternative for As control and water recovery, henceforth, limiting its impact through the use of constructed wetlands.

Resumen

Para mitigar la exposición de la población al consumo de agua con altas concentraciones de arsénico, se han instalado en el Estado de Chihuahua, más de 300 sistemas de osmosis inversa (POI) en 273 comunidades. Las plantas de osmosis inversa, concentran el contaminante en el agua de rechazo. La disposición inadecuada de dichos residuos, está generando una problemática ambiental en suelo y agua superficial. El presente estudio tuvo como objetivo analizar el impacto ambiental de la disposición del agua de rechazo en suelo agrícola. Se determinó la concentración de As en el agua de rechazo, y su disposición, en las POI de diferentes poblados. Los resultados





indican que el 58% de las descargas son en los drenajes, y el 18% son utilizadas para riego agrícola. Para las POI de la zona, la disposición en suelo agrícola, concentra el metaloide en la superficie con velocidades de saturación al límite (NOM) de hasta 23 días/m². Una alternativa de recuperación del agua de rechazo, control del As y con ello limitación de los impactos lo constituye el uso de humedales construidos.

Keywords: Arsenic, reject water, disposal, reverse osmosis, soil.

Palabras clave: Arsénico, agua de rechazo, disposición, osmosis inversa, suelo.

1. INTRODUCCION

Millones de seres humanos son expuestos a niveles excesivos de As a través del agua de consumo humano (Agusa *et al.*, 2006). En México existen diversas zonas afectadas por altas concentraciones de As en el agua subterránea (Alarcón *et al.*, 2001). Resultados obtenidos del análisis de agua de pozo para consumo humano y uso agrícola, recolectadas en Chihuahua durante el periodo comprendido entre 1997 al 2007, muestran que un alto número de municipios del estado, exceden la normatividad mexicana establecida para consumo humano de 0.025 mg/L.(NOM-127-SSA-1994). En Chihuahua, para mitigar la exposición de la población al consumo de agua con altas concentraciones de arsénico, se han instalado mas de 300 sistemas de osmosis inversa en 273 comunidades del estado. Sin embargo uno de los principales problemas generado por las plantas de osmosis inversa, es la generación de grandes volúmenes de agua de rechazo (aprox. 50%) cuyo destino final actualmente es la red de alcantarillado municipal, suelo y riego de áreas verdes. De aquí que el presente estudio tuvo como objetivo, analizar la actual problemática de disposición de agua residual generada por los procesos de osmosis inversa y proponer alternativas de recuperación del agua de

rechazo de dichos sistemas, limitando así la contaminación del suelo y agua de las zonas afectadas.

2. METODOLOGIA

2.1. Análisis de Información y determinación del área de estudio.-Se realizo la revisión y análisis de más de 1400 datos de análisis de laboratorio realizados a fuentes de abastecimiento de agua de los 67 municipios del estado de Chihuahua, para determinar cuál es el área más afectada por contaminación con As de las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano.

2.2. Muestreo y Análisis de Agua de sistemas de osmosis inversa

Se realizo el muestreo y caracterización de 116 plantas de osmosis inversa localizadas en 12 de los municipios del estado de Chihuahua, más afectados por altas concentraciones de As en agua. Un total de 263 muestras de agua fueron tomadas a la entrada, salida y rechazo de los sistemas de osmosis inversa y analizadas para determinar la concentración de Arsénico (As), Flúor (F), Fierro (Fe), el pH y Conductividad Eléctrica (C.E.).

2.3. Determinaciones analíticas.



La determinación del contenido de flúor (F^-) se llevó a cabo por electrodo de ion selectivo. La determinación de las concentraciones de As y Fe se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros, previa digestión ácida por microondas.

3. RESULTADOS

3.1. Concentración de arsénico en el agua subterránea de la zona de Estudio

La zona de mayor frecuencia en la presencia de As, se localiza en la región sureste del estado de Chihuahua, misma que fue seleccionada como área de estudio (Fig. 1).

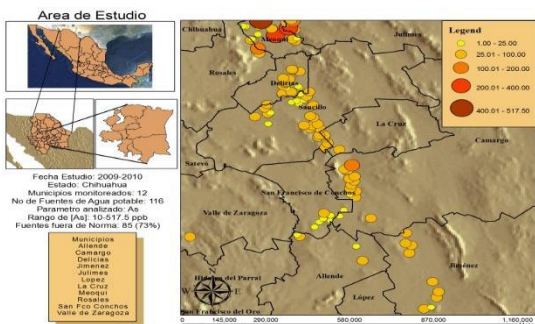


Figura 1.-Área de estudio.

3.2. Concentraciones de As en los sistemas de osmosis inversa

En la Tabla 1 se presentan las concentraciones promedio de As, obtenidas de las muestras recolectadas en las diferentes etapas de los sistemas de osmosis inversa,.

Tabla 1.-Concentración promedio de As en los sistemas de osmosis de los diferentes municipios monitoreados.

Municipio	No. de Plantas	[As] Agua a tratar mg/L	[As] Agua de Rechaz mg/L	[As] Agua Tratada mg/L
Delicias	17	.034	.063	.002
Camargo	19	.049	.135	.013

Jiménez	9	.048	.050	.000
Julimes	9	.098	.485	.005
Meoqui	20	.074	.138	.008
Saucillo	25	.038	.115	.003

En la Tabla 2 se presentan los sitios de disposición final del agua de rechazo generada por los 116 sistemas de osmosis monitoreados.

Tabla 2.-Destino del agua de rechazo de los sistemas de osmosis inversa monitoreados.

DESTINO	NUMERO DE DESCARGAS
Drenaje	68 (58%)
Suelo	21 (18%)
Riego Áreas Verdes	14 (12%)
Regreso al Pozo u Otros	14 (12%)

El valor limite para As en descargas de aguas residuales a cuerpos receptores de 0.1mg/L para protección de vida acuática y uso público urbano y 0.2 mg/L para riego agrícola (NOM-001-SEMARNAT-1996). El agua de rechazo es descargada principalmente (58%) a los sistemas de alcantarillado municipal, los cuales a su vez, son descargados en ríos sin ningún tipo de tratamiento, contaminando el cuerpo receptor. Así mismo éstas altas concentraciones de As en los ecosistemas acuáticos se biomagnifican a través de las cadenas tróficas e incrementan el riesgo de exposición para la salud humana, por el uso para consumo de agua y preparación de alimentos.

En lo que respecta a la contaminación de suelo por As, el valor limite para uso agrícola/residencial/comercial, es de 22mg/kg (NOM-147-SEMARNAT-2004). En los sistemas de osmosis inversa, para un promedio de



5000L/día de agua tratada, se tienen aproximadamente: 2500L/día de agua de rechazo con una concentración promedio de As de 135mg/L. Considerando que el 30% de dicha agua se dispone en suelo y riego de áreas verdes, la masa de As adicionada a suelo corresponde a 101mg/día. Considerando un área de 1m², y una profundidad de suelo de 20 cm (cubierta vegetal) y una densidad aparente de suelo de 1.15kg/m³, se estima que en 50 días, la concentración de 22 mg As/kg/m², sería superada. En el caso de las plantas de osmosis inversa localizadas en el municipio del municipio de Julimes, las cuales presentan las concentraciones de As más altas detectadas en la zona, el tiempo para superar la concentración de referencia sería de 14 días. El riego de campos agrícolas con agua contaminada con As ha aumentado su acumulación en el suelo, con la posible subsecuente traslocación del As a los cultivos que crecen en dichos suelos. Estudios recientes, (Dahal et al 2007), reportan que diferentes cultivos regados con agua con concentraciones de As entre .005 y 1.014mg/L, presentaron concentraciones altas del metaloide en las diferentes partes de las plantas, presentando los valores más altos en la raíz de esta y los más bajos en la parte comestible, los valores promedios obtenidos en la parte comestible fueron: cebolla (0.55mgAs/kg), coliflor (0.33mgAs/kg), arroz (0.18mgAs/kg), berenjena (0.09mgAs/kg) y papa (\leq 0.01mgAs/kg). con ello se pone en evidencia el alto riego que conlleva el regar cultivos con agua que contiene altas

concentraciones de As, ya que éste puede ser retenido o traslocado hacia la parte comestible por las plantas en función del metabolismo de cada cultivar.

Existen diferentes tecnologías a través de las cuales el As puede ser removido del agua de rechazo, como son los sistemas de precipitación química, adsorción a través de óxidos de hierro, y la fitorremediación a través de humedales construidos. Una de las alternativas de mayor viabilidad la constituyen los sistemas de tratamiento de humedales construidos los cuales son sistemas de tratamiento que puede tratar grandes volúmenes de agua contaminada a bajos costos y con mínimos requerimientos de operación y mantenimiento. Diferentes estudios demuestran que ésta tecnología es efectiva también para la remoción de metales y compuestos orgánicos.

Diferentes estudios realizados con prototipos de humedales construidos presentaron eficiencia de remoción de As en agua entre 86 y 99% Buddhawong et al., (2010), Olmos et al., (2011)

4. CONCLUSIONES

En Chihuahua se tienen altas concentraciones de As de origen natural en agua. La mala disposición de los residuos generados por los sistemas de osmosis inversa (agua de rechazo), está ocasionando un deterioro al ambiente, aportando altas cantidades de As a los diferentes ecosistemas (suelo, agua y plantas), representando un riesgo de biomagnificación e incrementando de la





exposición de la población a través de la ingesta de agua y alimentos. Es necesaria la implementación de tecnologías eficientes y económicas que permitan remover el As del agua de rechazo previo a su disposición final. Los humedales construidos han demostrado ser una opción técnica viable, retener altas concentraciones de As del agua, limitando con ello la dispersión del metaloide y contaminación de suelo, agua y plantas, y la consecuente disminución del riesgo a la salud humana de la gente expuesta a estos ambientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agusa. T., Kunito, T., Fujijara, J., Kubota, R., Minh. T. B., Trang. P. T. K., Iwata. H., Subramanian A., Viet. P. H., and Tanabe. S. (2006), Contamination by arsenic and other trace elements in tube-well water and its risk assessment to human in Hanoi, Vietnam, *Environ. Poll.*, 139 (1) 95-106.

Alarcón, M.T., Montenegro F. I., Romero N. P., Martin I. R. and Trejo V. R, (2001). Contenido

de arsénico en el agua potable del valle del Guadiana, México. *Ing.Hidr.en México XVI(4)*, 63-70.

Buddhawong, S., Kusch, P., Mattusch, J., Wiessner, J., Stottmeister, U. (2010). Removal of arsenic and zinc using different laboratory model wetland system. *Eng. Life.Sci.* (3).247-252.

Dahal, B., Fuerhacker, M., Mentler, A., Karki, K.B., Shrestha, R.R., Blum, W.E.H. (2008). Arsenic contamination of soil and agricultural plants through irrigation water in Nepal. *Environmental pollution*. 155: 157-163.

Olmos, M.A., Herrera, M.T., Martin, I.R. (2011). Performance of *Eleocharis macrostachya* and its Importance for Arsenic Retention in Constructed Wetlands. *Environmental Science Pollution Research*, 19:763-771.



ARSENITE ADSORPTION FROM GROUNDWATER USING IRON OXIDE NANOPARTICLES

ADSORCIÓN DE ARSENITO DEL AGUA SUBTERRÁNEA USANDO NANOPARTÍCULAS DE OXIDO DE HIERRO

López-Paraguay, M.Z.

M.C. Miriam Z. López Paraguay. Estudiante de Doctorado
miriam.lopez@cimav.edu.mx

Alarcón-Herrera, M. T*.

Ph.D. Ma. Teresa Alarcón-Herrera, Prof. e Investigadora Titular C, Dpto. Energías Renovables y Protección al Medio Ambiente, CIMAV
Corresponding author: teresa.alarcon@cimav.edu.mx

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV)

Ave. Miguel de Cervantes 120, C. P. 31109, Complejo Industrial Chihuahua
Chihuahua, Chihuahua, México
Tel: +52 (614) 439 1100, Fax: +52 (614) 439 4884 Ext. 1121

Abstract

The development of technologically feasible and accessible alternatives to remove arsenic (As) from water is a priority for many Latin-American communities. The objective of this study was to investigate the technical feasibility of using nanoparticles obtained from oxidation of metallic wool, to remove arsenite (As^{+3}) from water. The obtained magnetic, microporous-nanomaterial had a superficial area of $88.30 \text{ m}^2/\text{g}$ and was composed mainly of lepidocrocite ($\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$). As^{+3} was removed from water until it reached undetectable levels ($<5 \mu\text{g/L}$) in a retention time of seven minutes by using 0.55 g/L of $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$ under environmental operating conditions (pH 7.8 ± 0.2 and temperature $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$). The maximum material adsorption capacity was 3.2 mg/g . The magnetic field intensity for the magnetic filtration was 0.24 Teslas . A Lepidocrocite nanoparticle in conjunction with magnetic filtration is an innovative and highly efficient technique for the removal of arsenic from water.

Resumen

El desarrollo de alternativas tecnológicamente viables y accesibles para remover arsénico (As) del agua constituye una necesidad apremiante para muchas comunidades Latinoamericanas. El objetivo fue investigar la viabilidad técnica del uso de





nanopartículas obtenidas a partir de lana metálica reciclada para remover arsenito (As^{+3}) del agua. Se obtuvo un nanomaterial magnético, microporoso, con área superficial de $88,30 \text{ m}^2/\text{g}$, compuesto principalmente por lepidocrocita ($\gamma\text{-FeO(OH)}$). El As^{+3} fue removido del agua hasta niveles no detectables ($<5 \mu\text{g/L}$) en un tiempo de retención de siete minutos usando 0.55 g/L de $\gamma\text{-FeO(OH)}$ bajo condiciones de operación ambiental ($\text{pH } 7.8 \pm 0.2$ y temperatura $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$). La capacidad máxima de adsorción del material fue de 3.2 mg/g . La intensidad de campo magnético para la filtración magnética fue de 0.24 Teslas. Las nanopartículas de lepidocrocita, en conjunto con la filtración magnética, constituyen un proceso innovador de alta eficiencia para la remoción de arsénico del agua.

Keywords: Adsorption, arsenite, nanoparticles, water

Palabras Claves: Adsorción; arsenito; nanopartículas; agua.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial uno de los mayores problemas que afectan la calidad del agua de consumo humano es la presencia de arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua. En México, la norma NOM-127-SSA1-1994 establece una concentración máxima de arsénico en el agua potable de $25 \mu\text{g/L}$. Existen diversas tecnologías convencionales de tratamiento de agua (coagulación-precipitación, empleo de membranas como la osmosis inversa, adsorción, intercambio iónico) y las llamadas tecnologías emergentes (fitoremediación, electrocoagulación, empleo de nanomateriales). Las micro y macro partículas de óxidos de hierro son uno de los medios adsorbentes más eficaces (99.95% de As^{+5} y 98% de As^{+3}) y económicamente accesibles para la remoción del arsénico (Abhijit Maiti, et al., 2007). El objetivo del estudio fué investigar la viabilidad de emplear nanopartículas de hierro en la remoción de

arsénico, utilizando sus propiedades magnéticas para la separación del agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de las nanopartículas

Para producir el nanoadsorbente se utilizó lana de acero metálica, que fue sometida a lavado y posteriormente oxidada. Se obtuvo un polvo seco de color naranja oscuro el cual fue identificado con un microscopio electrónico de transmisión TEM y se determinó el área superficial.

2.2 Procedimiento experimental

Diferentes cantidades de nanopartículas ($0,2$ a $1,2 \text{ g/L}$) fueron puestas en contacto con agua adicionada de arsénico de 0.5 a 10 minutos. Para propiciar la interacción entre los iones de arsénico y el adsorbente se utilizó ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz (Branson 2510 Ultrasonic Cleaner). Posteriormente, el sistema As^{+3} -adsorbente fue sometido a un proceso de filtración magnética. La adsorción y filtración





magnética se llevó a cabo a temperatura ambiente ($23\pm 3^{\circ}\text{C}$) y $\text{pH}=7.8\pm 0.2$). Las muestras filtradas fueron digeridas antes de la cuantificación analítica de arsénico.

2.3 Determinaciones analíticas

Para la cuantificación del arsénico se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica GBC (modelo Avanta Sigma) acoplado a un generador de hidruros (HG-AAS). Este equipo fue calibrado con soluciones estándar de referencia (High Purity Standards) trazable por The U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del material

El nanomaterial obtenido fue identificado como oxihidróxido de hierro (III) denominado lepidocrocita, $\gamma\text{-FeO(OH)}$, su área superficial fue de $88,30\text{ m}^2/\text{g}$, con una distribución de tamaño de poro principalmente microporoso.

3.2 Eficiencias en la remoción de As^{+3}

Los resultados se presentan en la figura 1. Donde se observa que con una dosis igual o superior a 0.7 g/L , se logró a remover prácticamente el 100% de arsénico en menos de 4 minutos, de igual manera ocurrió cuando se empleo 0.55 g/L de $\gamma\text{-FeO(OH)}$ y siete minutos. El tiempo de equilibrio varía en función a la cantidad de adsorbente utilizado, a mayor cantidad mayor es el tiempo requerido para lograr el equilibrio. Con dosis de 0.35 g/L y tiempos de retención de 4 minutos, se logró obtener la calidad requerida por las normas internacionales ($<10\text{ }\mu\text{g As/L}$). La figura 2 se presenta el análisis estadístico de los

resultados. Se aprecian seis rangos de eficiencia de remoción de As^{+3} , lo cual permite seleccionar diferentes opciones de tratamiento.

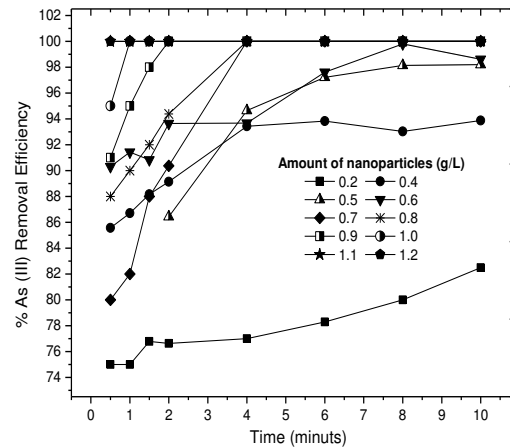


Figura 1. Eficiencia en la remoción de As^{+3} (C_0 : $113\text{ }\mu\text{g/L}$, pH : 7.8 ± 0.2 , T $^{\circ}\text{C}$: 23 ± 3 , tiempo max: 10 min).

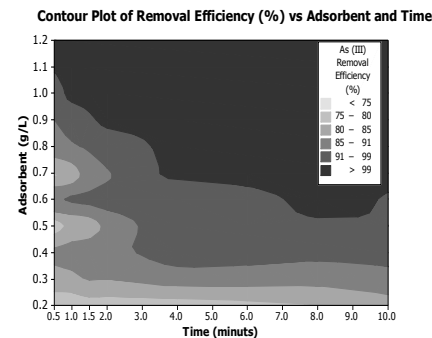


Figura 2. Contorno de la superficie formada por la Eficiencia de remoción vs. Adsorbente y Tiempo. La máxima capacidad de adsorción encontrada fue de 2.9 mg/g de As^{+3} .

3.3 Influencia del campo.

En la figura 3 se presenta la influencia de la intensidad de campo magnético en la eficiencia de remoción de As^{+3} . Se observa que a mayor intensidad del campo magnético mayor es la eficiencia de remoción de As^{+3}





posiblemente debido al incremento en la retención del nanomaterial en la columna de filtración. Bajo las condiciones de trabajo, se logró obtener agua tratada con la calidad requerida por las normas internacionales ($As < 10 \mu\text{g/L}$), a 0.24 T (Teslas).

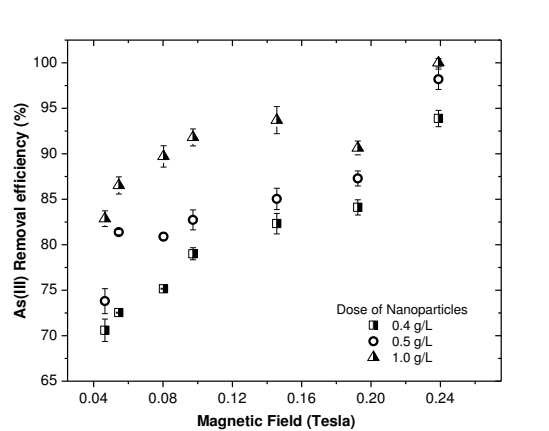


Figura 3. Eficiencia de remoción de As^{+3} a diferentes intensidades de campo magnético (C_0 : $113 \mu\text{g/L}$, pH : 7.8 ± 0.2 , tiempo de agitación: 10 min, tiempo de filtración magnética: 40 min, T : $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$).

Dada la naturaleza superficial y selectiva de los procesos de adsorción, este método ha resultado eficiente en la remoción de arsénico. La alúmina activada es capaz de remover hasta un 95% de arsenatos pero no es capaz de remover arsenitos, mientras que los óxidos de hierro han sido los mejores sorbentes gracias a la afinidad química que existe entre los hidróxidos de hierro y los iones de arsénico (99.95% de As^{+5} y 98% de As^{+3}) (Petkova S., et al., 1998). Este proceso es capaz de remover el arsénico en medios alcalinos ($\text{pH} > 10.5$) y con alta dureza, no se requieren otros productos químicos y es altamente selectivo hacia el As^{+5} (M.I. Litter et al. 2010). Es una alternativa útil para abastecer de agua a comunidades o al hogar. Pese a que se cuenta con una gran variedad de adsorbentes (óxidos de aluminio, alúmina activada, óxidos e

hidróxidos de hierro, dióxido de titanio, óxido de cerio, hierro valencia cero, zeolitas arcillas, biosorbentes), no se han logrado reducir los tiempos ni la cantidad de adsorbente que se demanda, razón por la cual se continúa explorando el desarrollo de nuevos materiales y mejorando la eficiencia de los ya existentes, llegando a enfocar la investigación en el campo de los nanomateriales.

Entre las ventajas que ofrece el sistema propuesto en este estudio, se tiene la alta capacidad de adsorción de las nanopartículas en comparación a los micro y macro-adsorbentes, debido a su elevada área superficial y mayor disposición de sitios activos de adsorción. Así mismo, la cantidad del material requerido para el proceso se reduce drásticamente, entre un 25 a 98%. Al reducirse la demanda de adsorbente, se reduce también el volumen de lodos generados.

4. CONCLUSIONES

El nanomaterial propuesto de lepidocrocita microporosa ($\gamma\text{-FeO(OH)}$) tuvo un área superficial de $88.3 \text{ m}^2/\text{g}$. Bajo condiciones ambientales de temperatura ($23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ pH del agua $= 7.8 \pm 0.2$) se logró remover prácticamente el 100% de As^{+3} en siete minutos empleando 0.55 g/L de $\gamma\text{-FeO(OH)}$. Los resultados obtenidos indican que Las nanopartículas de lepidocrocita, en conjunto con la filtración magnética, constituye un proceso innovador de alta eficiencia para la remoción de arsénico del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Litter Marta I. y Mansilla Héctor D.; 2003. Remoción de arsénico asistida por luz solar en





comunidades rurales de América Latina. Proyecto OEA -AE 141/2001.

Maiti Abhijit, Das Gupta Sunando, Kumar Basu Jayant, Sirshendu De. 2007. Adsorption of arsenite using natural laterite as adsorbent. Separation and Purification Technology 55: 350–359.

Official Mexican Standard NOM-127-SSA1-1994. Environmental Health, water for human use and consumption – permissible limits of quality and treatments to which water must be submitted for its drinkability.

Petkova Simeonova Verguinia, Rivera Huerta Lourdes, Piña Soberanis Martín, Avilés Flores Martha y Pérez Castrejón Sara. 1998. Evaluación de diversos minerales para la remoción de arsénico de agua para consumo humano. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

World Health Organization (WHO), 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality. In: Recommendations, third ed., vol. 1. WHO, Geneva, Switzerland.

