



## 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](mailto: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 ( $\text{As}^{+3}$ ) 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 ( $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$ ).  $\text{As}^{+3}$  was removed from water until it reached undetectable levels ( $<5 \mu\text{g/L}$ ) in a retention time of seven minutes by using  $0.55 \text{ g/L}$  of  $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$  under environmental operating conditions (pH  $7.8 \pm 0.2$  and temperature  $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ). The maximum material adsorption capacity was  $3.2 \text{ mg/g}$ . The magnetic field intensity for the magnetic filtration was  $0.24 \text{ Teslas}$ . 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 ( $\text{As}^{+3}$ ) 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  $\text{As}^{+3}$  fue removido del agua hasta niveles no detectables ( $<5 \mu\text{g/L}$ ) en un tiempo de retención de siete minutos usando  $0.55 \text{ g/L}$  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  $3.2 \text{ mg/g}$ . 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  $\text{As}^{+5}$  y  $98\%$  de  $\text{As}^{+3}$ ) 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  $40 \text{ kHz}$  (Branson 2510 Ultrasonic Cleaner). Posteriormente, el sistema  $\text{As}^{+3}$ -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

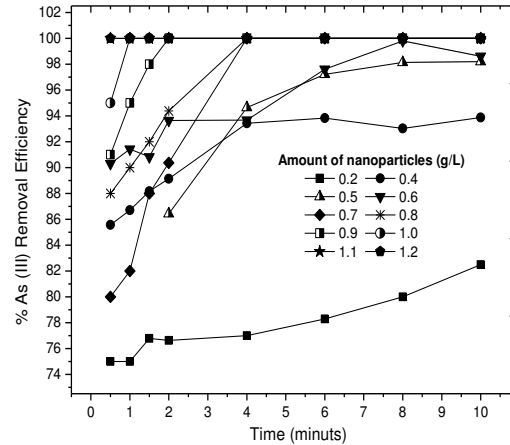
### 3.1 Caracterización del material

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.

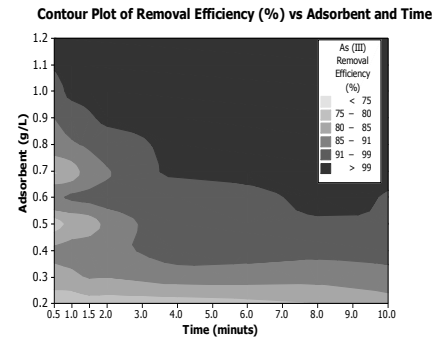
### 3.2 Eficiencias en la remoción de $\text{As}^{+3}$

Los resultados se presentan en la figura 1. Donde se observa que con una dosis igual o superior a  $0.7\text{ g/L}$ , se logró a remover prácticamente el 100% de arsénico en menos de 4 minutos, de igual manera ocurrió cuando se empleo  $0.55\text{ g/L}$  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  $0.35\text{ g/L}$  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  $\text{As}^{+3}$ , lo cual permite seleccionar diferentes opciones de tratamiento.



**Figura 1.** Eficiencia en la remoción de  $\text{As}^{+3}$  ( $C_0$ :  $113\text{ }\mu\text{g/L}$ ,  $\text{pH}$ :  $7.8\pm 0.2$ ,  $T$   $^\circ\text{C}$ :  $23\pm 3$ , 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  $2.9\text{ mg/g}$  de  $\text{As}^{+3}$ .

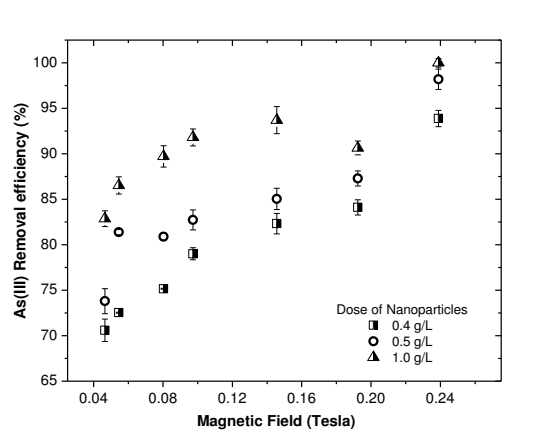
### 3.3 Influencia del campo.

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





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 ( $C_0$ :  $113 \mu\text{g/L}$ ,  $\text{pH}$ :  $7.8 \pm 0.2$ , 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 ( $23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$   $\text{pH}$  del agua  $= 7.8 \pm 0.2$ ) se logró remover prácticamente el 100% de  $As^{+3}$  en siete minutos empleando  $0.55 \text{ g/L}$  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.

