

# REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III y V) DE AGUA UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA SINTETIZADAS POR LA TÉCNICA AACVD



B. E. Monárrez-Cordero, P. Amézaga-Madrid\*, M. Miki-Yoshida\*  
 Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Laboratorio Nacional de Nanotecnología, Miguel de Cervantes 120, Chihuahua, Chih., C.P. 31136, México.  
 \*Corresponding authors: patricia.amezaga@cimav.edu.mx; mario.miki@cimav.edu.mx

## RESUMEN

La contaminación de cuerpos de agua es causada principalmente por la presencia de metales y metaloides pesados como el arsénico. La mayoría de las técnicas empleadas para su eliminación son de alto costo y tienen problemas secundarios como la generación de lodos. Por lo tanto, se necesita optar con otras alternativas como la nanotecnología. En este trabajo se presenta la cinética de adsorción de arsénico (III y V), utilizando nanopartículas de magnetita (MNPs) sintetizadas por depósito químico de vapor asistido por aerosol (AACVD) [1, 2]. Los resultados mostraron una eficiencia de eliminación de 95% para As (V) y 70% para As (III), en 15 minutos de tiempo de contacto. Se demuestra además el fenómeno de adsorción como un proceso de fisiorción, lo que da la posibilidad de poder reutilizar las nanopartículas. Estos resultados sugieren que las MNPs se pueden emplear como una alternativa prometedora en la eliminación eficiente de iones tóxicos en el agua por medio de un proceso de fisiorción.

## 1. PROCESOS DE ADSORCIÓN

Fisiorción	Quimisorción
Fuerzas electrostáticas de atracción	Enlaces químicos
Calores de adsorción menores a 20 kJ mol <sup>-1</sup>	Calores de adsorción mayores a 40 kJ mol <sup>-1</sup>
Procesos reversibles	Procesos irreversibles
El espesor de la capa adsorbida varía	La capa adsorbida es del espesor de una molécula
No requiere energía de activación	Requiere energía de activación

Tabla 1. Indica las características principales de los procesos de quimisorción y fisiorción, para los cuales se realizan isotermas de adsorción.

## 2. METODOLOGÍA



Figura 1. Esquema de la metodología utilizada para poner en contacto las MNPs con las soluciones de As<sup>+3</sup> y As<sup>+5</sup> y su posterior separación con el agua libre de As.

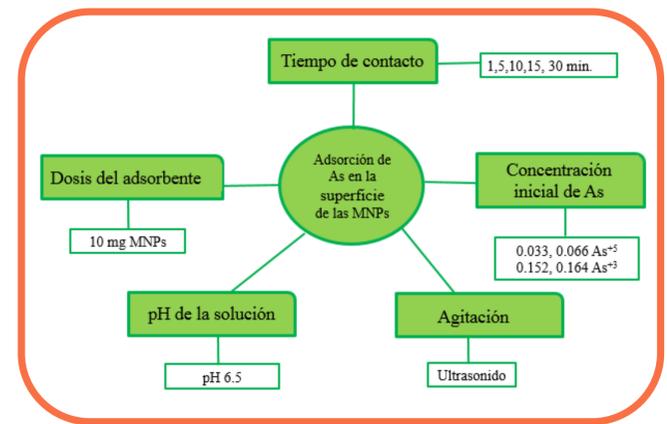


Figura 2. Diagrama de las condiciones utilizadas para realizar las pruebas de contacto de las MNPs con el Arsénico.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Efecto del tiempo de contacto y la concentración

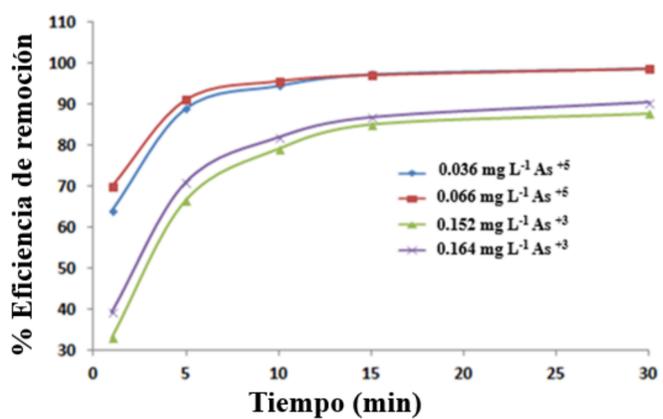


Figura 3. Se muestra que en los primeros 15 minutos se logra alcanzar el equilibrio tanto para As<sup>+5</sup> como para As<sup>+3</sup>, removiéndose un 97% de As<sup>+5</sup> y un 87% de As<sup>+3</sup>, lo cual permite cumplir con la norma mexicana, como se muestra en la tabla 2.

Tiempo (min)	% Remoción As <sup>+5</sup> (0.036 mg L <sup>-1</sup> )	% Remoción As <sup>+5</sup> (0.066 mg L <sup>-1</sup> )	Norma
1	64	70	Norma Mexicana
5	89	91	OMS
10	94	95	OMS
15	97	97	OMS
30	99	98	OMS

Tiempo (min)	% Remoción As <sup>+3</sup> (0.152 mg L <sup>-1</sup> )	% Remoción As <sup>+3</sup> (0.164 mg L <sup>-1</sup> )	Norma
15	85	87	Norma Mexicana
30	88	90	Norma Mexicana

Tabla 2. Indica los porcentajes remoción de As<sup>+3</sup> y As<sup>+5</sup> del agua y las normas que cumplen.

### 3.2 Capacidad de adsorción de las MNPs

Especie de As	Concentración inicial Co (mg L <sup>-1</sup> )	Volumen de la solución V (L)	mg MNPs	Capacidad de adsorción qe (mg g <sup>-1</sup> )
As <sup>+5</sup>	0.036	0.1	0.01	0.355
As <sup>+5</sup>	0.066	0.1	0.01	0.63
As <sup>+3</sup>	0.152	0.1	0.01	1.33
As <sup>+3</sup>	0.164	0.1	0.01	1.38

Tabla 3. Indica las concentraciones y especies de arsénico utilizadas, en 0.1 L de solución y 0.01 mg de MNPs, donde la qe es muy similar a la concentración inicial para As<sup>+5</sup> y As<sup>+3</sup>, formando una monocapa.

### 3.4 Termodinámica del proceso de adsorción

#### 3.4.1 Energía de adsorción

Especies As	Concentración (mg/L)	Constante Langmuir (mol <sup>2</sup> /kJ <sup>2</sup> )	Energía de Gibbs (kJ/mol)
As <sup>+5</sup>	0.033	37	-8.8
As <sup>+5</sup>	0.066	23	-7.6
As <sup>+3</sup>	0.152	2.4	-2.14
As <sup>+3</sup>	0.164	1.9	-1.57

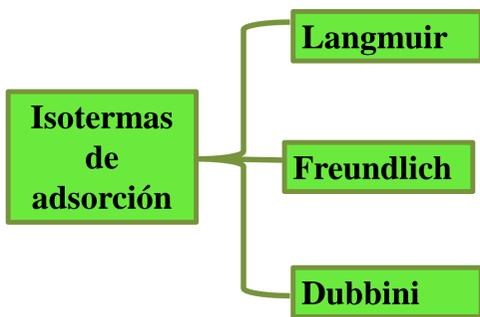
Tabla 4. Indica el proceso espontaneo para ambas especies, en este caso el trabajo se traduce en el desplazamiento del adsorbato hasta la superficie del adsorbente.

#### 3.4.2 Energía de Gibbs

Especies As	Co (mg/L)	K (mol <sup>2</sup> /kJ <sup>2</sup> )	E (kJ/mol)
As <sup>+5</sup>	0.033	0.0013	19
As <sup>+5</sup>	0.066	0.0012	20
As <sup>+3</sup>	0.152	0.011	6.7
As <sup>+3</sup>	0.164	0.0086	7.6

Tabla 4. Muestra los cambios de energía libre de adsorción (E), para As<sup>+5</sup> y As<sup>+3</sup>, los cuales son menores de 20 kJ/mol lo que podría ser explicado por una fisiorción.

### 3.3 Estudio de isotermas de adsorción



	As <sup>+5</sup>		As <sup>+3</sup>	
Co	0.036 mg L <sup>-1</sup>	0.066 mg L <sup>-1</sup>	0.152 mg L <sup>-1</sup>	0.164 mg L <sup>-1</sup>
Q <sub>0</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.338	0.623	1.052	1.219
K (L mg <sup>-1</sup> )	-37	-23	-24	-1.9
Q <sub>e</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.35	0.63	1.33	1.38
R <sup>2</sup>	0.85	0.91	0.97	0.95

	As <sup>+5</sup>		As <sup>+3</sup>	
Co	0.036 mg L <sup>-1</sup>	0.066 mg L <sup>-1</sup>	0.152 mg L <sup>-1</sup>	0.164 mg L <sup>-1</sup>
K <sub>r</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.540	0.280	0.610	0.77
n	-32	-36	-5	-6.3
q <sub>e</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.63	0.35	1.33	1.38
R <sup>2</sup>	0.97	0.96	0.98	0.99

	As <sup>+5</sup>		As <sup>+3</sup>	
Co	0.036 mg L <sup>-1</sup>	0.066 mg L <sup>-1</sup>	0.152 mg L <sup>-1</sup>	0.164 mg L <sup>-1</sup>
q <sub>max</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.278	0.528	0.439	0.606
k	0.013	0.0012	0.0011	0.0086
q <sub>e</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	0.35	0.63	1.33	1.38
R <sup>2</sup>	0.96	0.97	0.99	0.99

Figura 4. El Modelo de Langmuir mostró una adsorción máxima correspondiente a una monocapa depositada sobre la superficie de las MNPs. Según los modelos de Freundlich y Dubbini, se forma más de una monocapa correspondiente a una fisiorción.

### 3.5 Determinación de As por MET

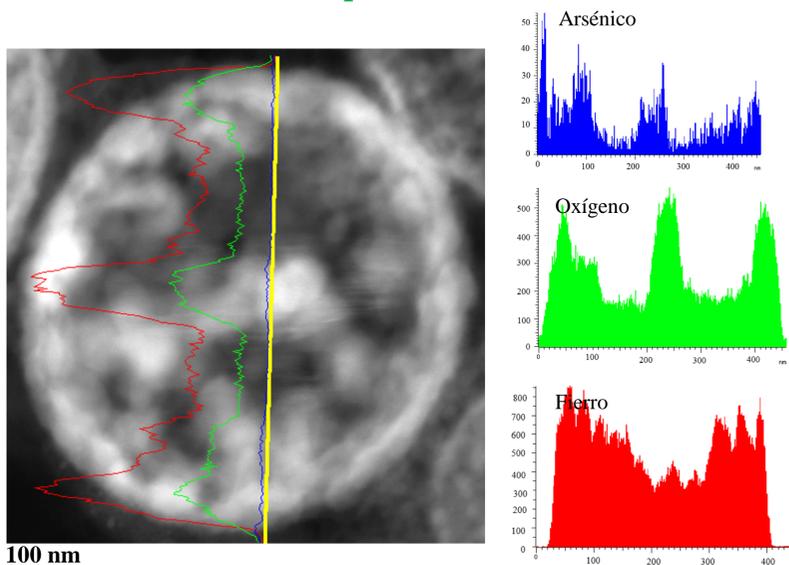


Figura 5. Micrografía de MET que muestra la morfología de las MNPs y la distribución de arsénico, donde se puede observar que se encuentra adsorbido tanto en la superficie como en el interior de la misma.

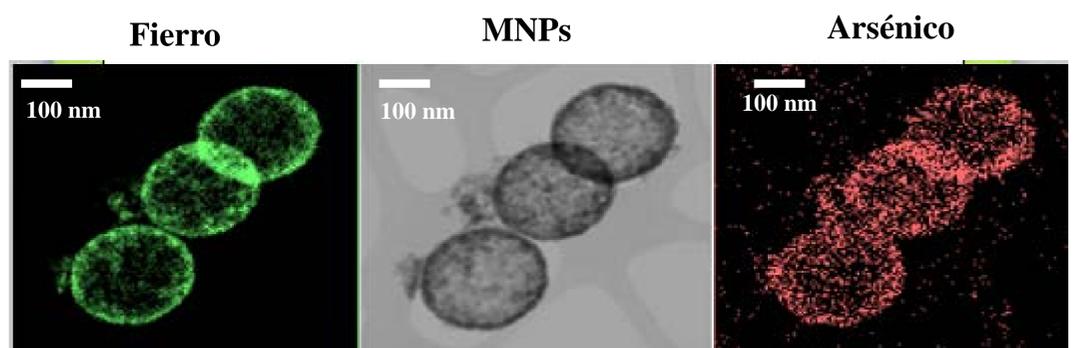


Figura 6. Micrografía del TEM por mapeo donde se muestra la distribución de arsénico y hierro en las MNPs donde se puede observar que se encuentra adherido tanto en la superficie como en el interior de la misma.

## 4. Conclusión

En As<sup>+5</sup> se obtuvieron eficiencias de remoción del 90% en los primeros 5 minutos, lo que permite cumplir con la norma oficial mexicana de 0.01 mg L<sup>-1</sup> para la cantidad de arsénico presente en el agua. En As<sup>+3</sup> para las concentraciones utilizadas no se logra cumplir con la norma de la OMS pero sí se consigue alcanzar lo establecido en México que son 0.025 mg L<sup>-1</sup>, en un tiempo de 15 minutos. El modelo que mejor ajuste lineal presentó fue el de Freundlich, cuyos resultados son muy similares a los obtenidos por Dubinín, por lo tanto se demuestra que es un proceso de fisiorción. Al obtenerse la energía de adsorción y la energía libre de Gibbs los valores son negativos por lo cual se deduce que el proceso se da de forma natural, porque es exotérmico.

## 5. Referencias

- [1] Blanca E. Monarrez-Cordero, Patricia Amezaga-Madrid, Paola G. Hernández-Salcedo, Wilber Antúnez-Flores, César Leyva-Porras, Mario Miki-Yoshida, Theoretical and experimental analysis of the aerosol assisted CVD synthesis of magnetite hollow nanoparticles, J. of Alloys and Comp. (2014).
- [2] Deschamps Eleonora, S.T. Ciminelli Virginia, Wolfgang H. Ho<sup>II</sup>. 2005. Removal of As (III) and As (V) from water using a natural Fe and Mn enriched sample, Water Research 39: 5212-5220.
- [3] Indra Deo Mall, Vimal Chandra Srivastava, Nitin Kumar Agarwal, Indra Mani Mishra. 2005. Removal of congo red from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon: Kinetics study and equilibrium isotherm analyses. Chemosphere 61: 492-501.