



---

## RESUMEN

---



El Arsénico (As) es un elemento químico contenido en diversos compuestos de utilidad para varias industrias. Sin embargo, resulta objetable cuando entra en contacto con el agua y se disuelve, debido a los lineamientos establecidos en las Normas de Calidad del vital líquido, tanto para darle disposición como un agua residual o bien si llega a contaminar abastecimientos de ésta destinados para el consumo humano.

Con la finalidad de apoyar las aplicaciones que presentan los compuestos de As y, además, pueda tenerse una alternativa adicional de tratar agua para beber, se estudia una nueva opción: el comportamiento de removerlo por adsorción, aplicando electrotratamiento en aguas que lo contengan, buscando que el proceso pueda ser aprovechado y se reduzca así el inconveniente de usar As, por no contar con buenas alternativas de acondicionar aguas contaminadas al disolverse dicho elemento.

A nivel laboratorio se ha observado la influencia de algunos parámetros (pH, concentración inicial de As, tiempo de tratamiento, equivalentes de As/cantidad de producto que lo remueve), para establecer las condiciones de operación a las cuales se produce la adsorción de As, estando presente en concentraciones de 0.5 a 2 ppm (mg/l), registrándose en las pruebas eficiencias de remoción mayores al 90%, sin detectarse en el método interferencias de adsorción, por la presencia de aniones típicamente presentes en un agua ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ).

## INTRODUCCIÓN

---

Ciertos artículos de investigación(\*, \*), reportan empresas que son posibles fuentes contaminantes de agua por As. Algunas de éstas, inherentemente en el procesamiento de sus productos, generan residuos que contienen este elemento químico, debido a que el mismo está presente en forma natural en la materia prima y durante la refinación o manufactura de ésta, obtienen los residuos mencionados (como en la refinación del petróleo, manufactureras de vidrio y cerámica). Otro caso son las industrias que usan compuestos de As para elaborar



sus productos (pesticidas, herbicidas), en estas últimas se encuentra la parte en donde teniendo utilidad hay la restricción de usarlo.

Hay elementos que poseen efectos nocivos en los seres vivos, razón de peso por la cual, se establecen límites de contaminación para quienes lo tengan presente en sus procesos, el As es uno de ellos, por las causas determinantes en los seres humanos. Algunas investigaciones relacionan al agua para beber que contiene éste compuesto, con el cáncer de hígado, pulmón, vejiga y riñón. Este factor influyó para que una dependencia internacional de protección ambiental (USEPA), estableciera que el límite máximo que se puede tolerar de As en aguas para beber es de 20 mg/l (Noviembre 1995) \*Por otro lado datos estadísticos marcan que los compuestos de As+3 son más tóxicos respecto a los de As+5 \*

#### TRATAMIENTOS PARA RETIRAR As DISUELTO EN AGUA

Los tratamientos desarrollados, describen diversos mecanismos mediante los cuales puede removerse el As, entre ellos cuando se combinan sus iones con metales como Hierro, Aluminio, Ytrio y Lantano, que lo pueden absorber al ser precipitados masivamente estos metales en forma de hidróxidos. Otra vía de quitarlo de agua es reteniéndolo en la estructura cristalina de ciertos sólidos, como los intercambiadores iónicos, que remueven del agua los iones de As, a cambio de transferirle a ella otros iones en cantidad equivalente. El carbón activado es un sólido que también en su estructura puede atraparlo, un mecanismo más es utilizando membranas, en donde estas no permiten el paso de los iones del As a través de ellas, solamente atraviesa una parte del agua en la que está disuelto. Debido a esto, dicho elemento químico queda en un residuo llamado rechazo de las membranas, esta última forma de tratar el agua se conoce como Osmosis Inversa.

Un tratamiento adicional a los mencionados, es el que corresponde a la investigación que en este artículo se desea presentar: remoción de As disuelto en agua por adsorción de sus iones en precipitados metálicos, al aplicar electrotratamiento.

El estudio de electrotratamiento se desarrolló de la siguiente manera: en su planeación se aprovechó la basta información presentada en las investigaciones de reciente publicación (1995 a la fecha), que se consultaron como referencias. En ellas, se encontraron desde tratamientos convencionales de coagulación, que permiten absorber en los precipitados que ahí se forman, a los iones del As, usando sales de aluminio o hierro, hasta métodos especializados que emplean tierras alcalinotérreas de metales como: Lantano e Ytrio, que prácticamente no son conocidas comercialmente en el tratamiento de aguas.

La siguiente semblanza de lo recopilado y revisado resume la valiosa guía que antecede a la presente investigación:



1. En tratamientos convencionales de agua potable con sales de aluminio y hierro, se reportan eficiencias del 88 a 99 % de remoción de As, indicando que con sales de hierro es menos sensible el tratamiento a los incrementos del pH, así como también se retira el elemento químico al usar compuestos de aluminio, señalando que la calidad del agua no se ve deteriorada por las altas dosis de químicos empleadas en el proceso; utilizando de 3 a 10 mg/l de sales para reducir un nivel de As correspondiente a 16 pg/l hasta rangos que van de 0.032 a 0.007 pg/l y que la eficiencia es independiente de la concentración inicial de As \*
2. Un estudio en el que se usaron muestras de agua residual con un contenido de 150 ppm de As total, señala que las muestras se trataron bajo diversos métodos:
  - a) Por adsorción en lechos de sulfuro ferroso, se redujo el nivel de As de 150 a 5.3 ppm.
  - b) En coprecipitación de As con hierro, usando sulfato ferroso se informa que al dosificar 2100 ppm de Fe soluble (que posteriormente precipita), seguido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como oxidante de compuestos orgánicos que están combinados con As y trabajando a un pH de 5.5, puede lograrse una disminución de 157 ppm a 0.29 ppm de As (290 ppb).
  - c) Con carbón activado, filtrando a través de él, agua residual con bajo contenido de As (150 - 600 ppb), se indica que se produjeron reducciones desde el 20 hasta 50 %, resultados que están en función del As orgánico presente en la muestra \*
3. Otro trabajo más cita que a través de adsorción en precipitados de Fe<sup>+3</sup>, seguido de una filtración en un lecho combinado de antracita - arena, es posible retirar As<sup>+5</sup> (en el caso de As<sup>+3</sup> una oxidación previa con KMnO<sub>4</sub> ó MnO<sub>2</sub>, asegura su unión a los precipitados de hierro), aquí se describe que el método depende fuertemente de la separación de las partículas en donde se adsorba el As. En aguas naturales que registran inicialmente As total de 45 a 56 pg/l \* se aplicaron concentraciones de 1.8 - 1.9 mg de Fe/l, permitiendo llegar a concentraciones finales de 17 a 20 pg/l del elemento químico a remover.
4. Algo distinto a lo tradicionalmente aplicado al tratamiento de aguas, es el método por el que se adsorben oxianiones de As, aplicando carbonato básico de Ytrio, aprovechando que tierras raras como Ytrio muestran alta capacidad de adsorción para aniones; partiendo de aguas sintéticas con As inicial de 2 a 10 m mol/l. En esta tecnología se indica que la separación buscada depende: del pH, concentración inicial de As, tiempo de reacción y temperatura, lográndose eficiencias mayores a 99%, sin interferencia de otros iones. Sin embargo, al aumentar la concentración inicial de As, disminuye la eficiencia, tanto para As<sup>+3</sup> como de As<sup>+5</sup>, pudiendo ser removidos cada uno a un pH determinado, además se señala que junto con la adsorción se da la remoción de As por precipitación de sus iones \*.
5. Lo también novedoso y diferente es el proceso de adsorción de As<sup>+5</sup>. En esta investigación se reporta el uso de hidróxido de Lantano, carbonato de Lantano y Carbonato Básico de Lantano, (el Lantano es abundante y no se usa industrialmente), mediante esta técnica se reduce a dicho elemento químico por abajo de 0.001 mM, alcance que depende altamente del pH que se vaya



obteniendo durante el tratamiento. En el pH inicial de la muestra y en función de este parámetro se presenta tanto la adsorción como la precipitación y al incrementarse este arriba de 8.7, disminuye el efecto para poder retirarlo. El pH de 3 a 8 y la remoción de As es más rápida con hidróxido de Lantano \*siendo mayor la velocidad de precipitación que la de adsorción. El método se aplicó a soluciones preparadas con 125 mM de Arsenito Dibásico de Sodio.

6. El análisis de As por la técnica de generación de hidruros usando Argón como gas sostenible, permite detecciones límite de 1 ppb, sin tener influencia en éste la presencia de Au, Ag, Cu, Se y Fe, a concentraciones menores de 10 ppm. Pruebas de agua de pozo con un contenido de 0 - 182 ppb aplicando un proceso de oxidación filtración usando dos arreglos piloto, permitieron reducciones de 42 a 76%, uno con aireación y otro con químicos (Hipoclorito de Sodio) \*

### Electrotratamiento

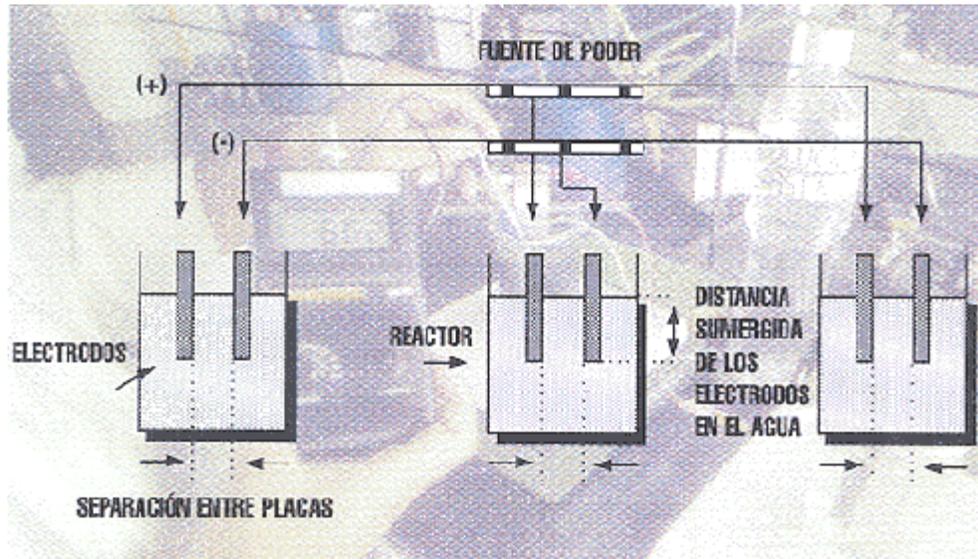
Tomando de referencias los datos ilustrados por cada uno de los autores que han investigado sobre remoción de As disuelto en agua, se desarrollaron experimentaciones en la siguiente forma:

Utilizando un sistema con electrodos de fierro, (dados los resultados hasta de un 99% de eficiencia, alcanzados en tratamientos convencionales de coagulación con sales de fierro).

Trabajando a pH inicial de 6 - 8, mismo que se aprecia adecuado para las partículas de fierro que absorberán o precipitarán al As, respecto a otras partículas como Aluminio, Ytrio, Magnesio, que requieren condiciones más específicas para ello. Tratando soluciones de Arsénico elaboradas en laboratorio a partir de  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4$  disuelto en agua desionizada, en concentraciones de 0.5 a 2 ppm y NaCl de 1g/l (como electrolito requerido en la solución). Permitiendo el paso de una corriente a un voltaje entre 13.5 - 14.0Volts.

Utilizando muestras de 100 ml, tiempo de tratamiento de 5 a 10 min, un área constante de electrodos de 12 CM<sup>2</sup> y separación de 1 cm, para permitir que el sistema eléctrico proporcione una cantidad de Fe que oscile alrededor de 15 a 20 veces más, que la cantidad de As presente, para propiciar lo mínimo necesario de Fe en el que se adsorban los iones de As, considerando que a concentraciones altas de As (más de 0.2 ppm) se han obtenido buenos resultados con relación Fe/As.

El equipo de laboratorio consistió de vasos de precipitados, rectificador de corriente, multímetro, placas de acero 1020, agitador magnético, cronómetro y balanza analítica.



#### Diagrama del Sistema de Electrotratamiento Resultados

En las tablas de resultados 1 y 2, se registraron la cantidad inicial de As y la cantidad de As removido. En el sistema se mantuvieron constantes para cada corrida el metal total presente, el voltaje y el tiempo de reacción, pero variaron el pH y la conductividad. El aumento de pH en relación al inicial, se deduce que es por la adsorción de As que se presenta, pues a mayor adsorción mayor cantidad de OH (que se desarrollan en el tratamiento), quedan libres. Por lo tanto, en la muestra con más cantidad de As (1.5 ppm), el pH final es superior que en la muestra de 0.5 ppm As. Así mismo, la de 1.0 ppm, tuvo un aumento en la conductividad de las muestras, después del tratamiento. Se explica también que los iones OH generalmente elevan más la conductividad del agua, que los aniones correspondientes al As presente en las muestras. Sin embargo, el aumento no fue pronunciado respecto al Fe que fue necesario que estuviera presente en el sistema. La relación Fe/As a la que se operó y permitió las eficiencias de remoción superiores al 90%, fue de un orden del 225 a 700.



CONC. INICIAL ppm As	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Volt)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu$ S)	METAL TOTAL PRESENTE ( $\mu$ g)
0.5	0.00	13.5	5.72	2120	348.0
	4.00	13.5	6.0	2450	
1.0	0.00	13.5	5.80	2100	345.0
	4.00	13.5	6.91	2500	
1.5	0.00	13.5	5.88	2050	350.0
	4.00	13.5	6.98	2600	

Tabla no. 1 comportamiento del sistema a distinta concentración (Rango de concentración 0.5 - 1.5 ppm).

CONC. INICIAL ppm As	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Volt)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu$ S)	ppm As Removido	% De As removido
0.5	0.00	13.5	5.72	2120	0.464	92.8
	4.00	13.5	6.96	2450		
1.0	0.00	13.5	5.80	2100	0.958	95.8
	4.00	13.5	6.91	2500		
1.5	0.00	13.5	5.88	2050	1.474	98.36
	4.00	13.5	6.98	2600		

Tabla de resultados no. 2 Por ciento de arsénico removido (Rango de concentración 0.5 - 1.5 ppm).

## Conclusiones

La remoción de Arsénico disuelto en agua, aplicando electrotratamiento por medio de electrodos de Fierro, para propiciar la adsorción de los iones presentes de este elemento, resultó satisfactoria al obtenerse eficiencias superiores al 90%, pues no se requirió de variar las condiciones iniciales de pH en las cuales se desarrolló el método, ni éstas cambiaron bruscamente al finalizar el mismo.

Adicionalmente, otros parámetros como conductividad y sólidos, disueltos, tampoco tuvieron notoria variación, aún cuando se requieran altas cantidades de Fierro presente en el sistema respecto a la concentración de Arsénico disuelto 225 - 700 ppm Fe/ 0.5 - 2.0 ppmAs, concluyéndose con esto último que la calidad de agua después del tratamiento realmente es aceptable.



## Referencias

1. Syed A. Wasay, Md. J. Haron, Akira Uchiumi and Shuzo Tokunaga. Removal of arsenite and arsenate ions from aqueous solution by basic Yttrium Carbonate. *Wat. Res.* Vol. 30 No. 5 1996.
2. Janet G. Hering, Pen-Yuan Chen, Jennifer A. Wiikie, Menachem Elimelech, and Sun Liang. Arsenic removal by ferric chloride *Journal AWWA* (April 1996).