

# DETERMINACION DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE FILTROS DOMICILIARIOS PARA LA REMOCION DE FLUORURO PRESENTE EN AGUA POTABLE EXTRAIDA DE POZOS

Fabián Ruiz Luna (1), Adrián Zamorategui Molina (2)

<sup>1</sup>Licenciatura en Química, Universidad de Guanajuato, tubixo.2@hotmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, zamorategui@ugto.mx

## Resumen

El agua es un recurso esencial para el consumo humano, en diversos estados del país se encuentra un exceso de fluoruro (>1,5 mg/l) que en el agua potable es perjudicial para la salud. La gamma alúmina sintetizada en el laboratorio y el carbón activado se utilizaron para la remoción del fluoruro presente en el agua potable extraída de pozo. Los materiales adsorbentes fueron caracterizados y se evaluó su capacidad de remoción del contaminante en medio estacionario y en flujo continuo. En la caracterización se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido, el análisis BET y potencial zeta. Para la determinación del ion fluoruro se utilizó el electrodo selectivo de fluoruro. Los resultados obtenidos muestran que la alúmina tiene una morfología fibrilar y presenta mayor potencial zeta en comparación con el carbón activado que tiene una estructura microporosa y más compacta. Las isothermas de adsorción muestra que el carbón activado es un material microporoso y la alúmina es un material mesoporoso. En la capacidad de remoción en estado estacionario y flujo continuo, la alúmina presenta mayor capacidad de remoción que el carbón activado.

## Abstract

Water is an essential resource for human consumption, in various states of the country there is an excess of fluoride (>1.5 mg/l) in drinking water is harmful to health. Gamma alumina synthesized in the laboratory and the activated carbon used for removal of fluoride in the drinking water drawn from the well. Adsorbent materials were characterized and pollutant removal capacity steady and continuous flow means was evaluated. The technique of scanning electron microscopy, zeta potential and BET analysis used in the characterization. Fluoride selective electrode was used for the determination of fluoride ion. The results show that the alumina has a fibrillar morphology and zeta potential has increased compared to the activated carbon has a microporous structure and more compact. The adsorption isotherms show that activated carbon is a microporous material and the mesoporous material is an alumina. In the removal capacity in steady state and continuous flow, alumina exhibits greater removal capacity than activated carbon.

fluorosis esquelético. Los métodos de tratamiento

## Palabras Clave

Flúor; Adsorción; Alúmina activada; Carbón activado; Caracterización.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial para sostener la vida y el medio ambiente. Sin embargo, la composición química de la superficie o del subsuelo es uno de los factores principales en los que la idoneidad de agua para uso doméstico, industrial o agrícola depende. Durante su compleja historia de flujo, el agua subterránea pasa por diversas formaciones geológicas que conducen a la contaminación consecuente en los acuíferos poco profundos. El flúor es altamente reactivo y se encuentra naturalmente como  $\text{CaF}_2$ . Es un componente esencial en minerales como el topacio, fluorita, fluorapatita, criolita, fosforita, teorapatite, etc. El fluoruro se encuentra en la atmósfera, suelo y agua. Entra en el suelo a través de la meteorización de las rocas, la precipitación o residuos que se escapan. Aunque el agua potable es el principal contribuyente (75-90% de la ingesta diaria), otras fuentes de envenenamiento por fluoruro son los alimentos, la exposición industrial, medicamentos, cosméticos, etc. [1].

En el estado de Guanajuato y otros estados del país, principalmente en Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas se ha incrementado de forma importante la explotación de recursos hídricos subterráneos, así como la contaminación de los mismos. El límite máximo permisible para uso y consumo humano es de 1,5 mg/l de Fluoruros [2].

El exceso de fluoruro (>1,5 mg/l) en el agua potable es perjudicial para la salud humana. Varios informes y estudios establecen tanto los riesgos de alta dosis de fluoruro y los beneficios de la exposición mínima. Una dosis diaria baja de fluoruro se consideró responsable de inhibir la caries dental, mientras que una dosis diaria más alta estaba vinculada a diente permanente y

actuales se pueden dividir en dos categorías: la precipitación y adsorción. Procesos de precipitación implican adición de productos químicos y la formación de precipitados de fluoruro o coprecipitación simultánea de fluoruro con un precipitado resultante. Entre ellas se encuentran la precipitación con sales de calcio y aluminio. Los procesos de adsorción implican el paso del agua a través de una cama de contacto donde se elimina el fluoruro por intercambio iónico o superficie de reacción química y procesos de membrana tales como la ósmosis inversa, nanofiltración, la electrodiálisis y la diálisis Donnan [3].

El más común en la defluorización del agua es la alúmina activada, considerado el adsorbente más efectivo. Otros materiales adsorbentes han sido considerados en la remoción del flúor en el agua, como son: las zeolitas (naturales y sintéticas), las arcillas, los óxidos a base de Al y Si, el carbón activado, carbón de hueso y los fosfatos de calcio [4].

La mayoría de los materiales disponibles para proceder a la defluorización son caros y técnicamente no factible para las áreas rurales. Por lo tanto, la necesidad de encontrar medios de proceder a la defluorización localmente disponibles para su uso seguro y fácil, tanto en los hogares y pequeños niveles de la comunidad es deseable. Se determinara las variables de operación como son la velocidad de flujo del agua, tiempo de flujo y la carga de material adsorbente en filtros para la remoción de fluoruros en el agua potable, también se determinara la eliminación de flúor mediante un método estacionario, se sintetizara y caracterizara los materiales utilizados para la remoción de fluoruros por diferentes métodos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la síntesis del material adsorbente se utilizó la sal de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  grado técnico, se preparó una solución con 103 gramos de sulfato de aluminio hasta llevar a un litro de solución con agua destilada, se mezcló vigorosamente y se filtró ya que el reactivo contiene impurezas insolubles. La síntesis se realizó por el método de hidrólisis-precipitación, en el cual se lleva a cabo la reacción en un matraz de tres bocas de 3 L, se agregó primero 300 mL de agua destilada y se calienta a  $50^\circ\text{C}$  una vez hasta alcanzar esa temperatura se inyecta gas amoniacal hasta llegar a  $70^\circ\text{C}$ , el flujo de gas es regulado para obtener una solución con un pH de entre 9-10, una vez obtenidas estas condiciones se introduce mediante una bomba peristáltica la solución de sulfato de aluminio, y se mezcla vigorosamente con la solución amoniacal, cuando se termina la solución se deja mantener la mezcla a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$  por 10 minutos con agitación constante. El precipitado se filtra y se lava para eliminar los sulfatos. Finalmente el precipitado se seca a  $110^\circ\text{C}$  para la obtención de pseudoboehmita que se utiliza como precursor para obtener la alúmina activada a  $450^\circ\text{C}$  ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), (Figura 1.1).



Figura 1.1: Representación de la síntesis de pseudoboehmita.

Se utilizaron dos tipos de carbón activado (CA) granular marca Clarimex y carbón activado en polvo marca Karal para comparar los resultados obtenidos con la alúmina activada.

### Pruebas de adsorción método estacionario

Se preparan soluciones con concentración conocida de fluoruro de 5 a 200 ppm en agua desionizada. Se usaron 40 mL de solución para la remoción de  $\text{F}^-$  a pH 5 y 7; 0.3 g de  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  y carbón activado (CA) en polvo. El análisis del fluoruro se

realizó con electrodo selectivo ( $\text{F}^-$ ); Thermo Scientific Modelo Orion 4 STAR.

### Pruebas de adsorción método de flujo continuo.

Se preparan soluciones con concentración conocida de fluoruro de 20 y 10 ppm en agua desionizada, y se utilizó agua extraída de pozo con concentración de 9 ppm, se introduce el agua mediante una bomba peristáltica en la columna utilizado como filtro, se determinan las variables como son el tiempo de flujo del agua en el filtro,

MATERIAL	Área superficial $\text{m}^2/\text{g}$	Tamaño de poro (nm)
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	332	11.19
CA	603	2.1

velocidad de flujo de salida del agua, carga de material no adsorbente esto para obtener un mejor paso del agua en el filtro y carga de material adsorbente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1.2 y 1.3 muestran las micrografías FE-SEM de la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  y el carbón activado en polvo. Como se puede ver, la alúmina activada presenta aglomerados de nanofibras con gran porosidad. Por otro lado el carbón activado presenta aglomerados con microporos los cuales concuerdan con los resultados obtenidos por el análisis BET (Figura 1.4). La determinación del área superficial específica de los materiales adsorbentes se realizó por el método BET encontrándose que el carbón activado tiene mayor área superficial ( $600 \text{ m}^2/\text{g}$ ) que la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  ( $330 \text{ m}^2/\text{g}$ ) (Tabla 1.1). Asimismo se observa el tamaño de poro de la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  más grande (mesoporo) que el del carbón activado (microporo) concordando con las isotermas de adsorción mostradas en la figura 1.4.

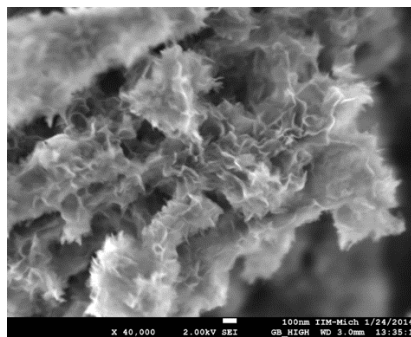


Figura 1.2: Micrografía FE-SEM de la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

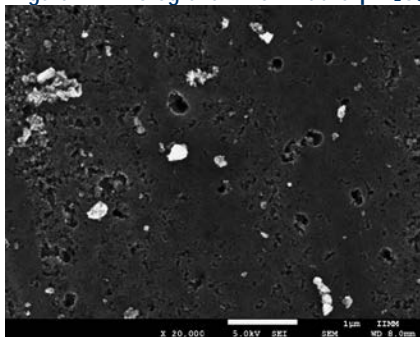


Figura 1.3: Micrografía FE-SEM del carbón activado (CA).

Tabla 1.1: Análisis BET de la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  y el Carbón Activado.

Los tipos de isotermas de adsorción de nitrógeno obtenidas para cada material muestran que la gamma alúmina es un material mesoporoso y el carbón activado es un material microporoso (Figura 1.4).

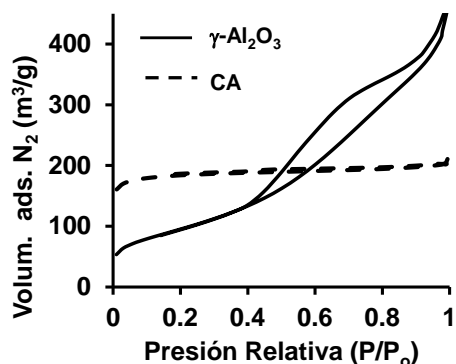


Figura 1.4: Isotermas de adsorción para  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  y carbón activado (CA).

Con el potencial zeta de las partículas podemos estudiar las cargas sobre la superficie del material y las fuerzas de repulsión entre las partículas a diferentes pH, observándose que la alúmina activada contiene una mayor carga superficial (Figura 1.5).

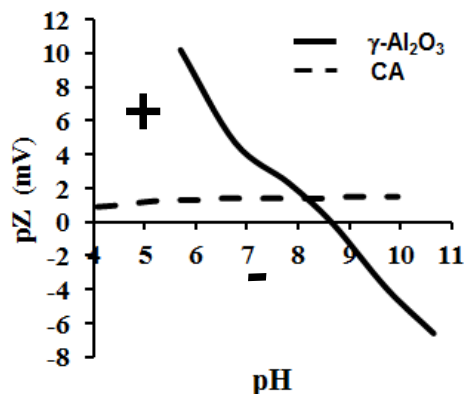


Figura 1.5: Variación de la carga sobre la superficie de los adsorbentes a distinto pH.

*Método estacionario*

Mediante la ecuación de adsorción de Langmuir relacionamos la adsorción de las moléculas sobre la superficie sólida de los materiales utilizados y con una concentración en el medio, graficamos los puntos y lo ajustamos a la ecuación para determinar el comportamiento del material a diferente pH (Figuras 1.6 y 1.7).

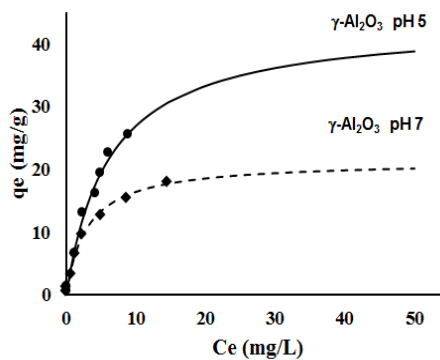


Figura 1.6: Isotermas de Langmuir para  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

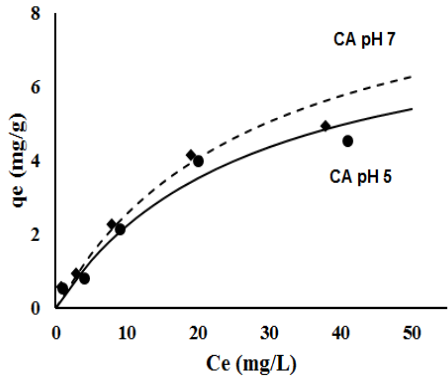


Figura 1.7: Isotermas de Langmuir para carbón activado (CA).

*Método de flujo continuo.*

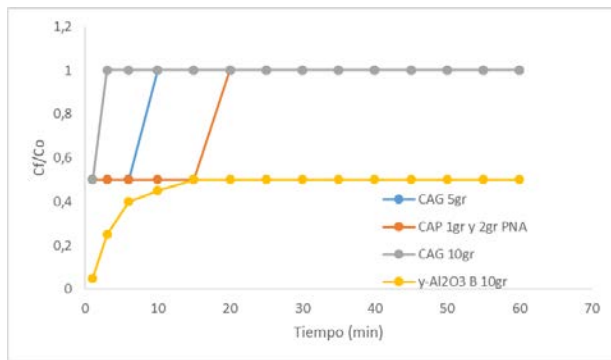


Figura 1.8: Adsorción de flúor a flujo continuo de 1,6 mL/min con carga de agua de 20ppm inicial de fluoruros (Co).

La alúmina activada en forma de bastón adsorbe una carga de fluoruros en el agua hasta un 95% en 1min después de ese tiempo se eleva rápidamente la concentración, el carbón activado comercial granular (CAG) y en polvo (CAP) no alcanzan a remover fluoruros por debajo de lo que marca la NOM-127-SSA1-1994 [2].

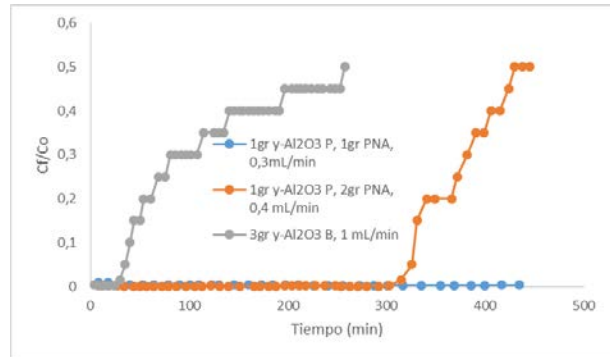


Figura 1.9: Adsorción de flúor a flujo continuo con carga de agua de 20ppm inicial de fluoruros (Co).

En el diagrama se muestra que al aumentar la masa de material no adsorbente con una carga de 1gr de alúmina activada y 2gr de plástico no adsorbente (PNA) deja de remover fluoruros al minuto 330 concentraciones por debajo de 1,5mg/L, en cambio una carga de 1gr de alúmina activada con 1gr de plástico no adsorbente es posible mantener aun el flujo de agua, el uso de alúmina activada en forma de bastón para el tratamiento del agua es más factible para flujos menores y tiempos mayores de residencia.

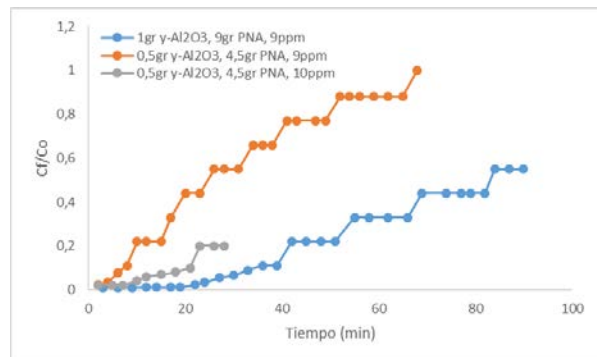


Figura 2: Adsorción de flúor a flujo continuo de 2 mL/min.

En base a los resultados anteriores se experimentó con el agua extraída de un pozo 9 mg/L de fluoruros y un agua preparada con concentración de 10 mg/L, con menor carga de material 0,5 gr de alúmina activada la concentración de flúor incrementa más rápidamente en el agua de pozo con un tiempo de 10 minutos a más de 1.5mg/L, al aumentar a 1gr de material adsorbente aumenta el tiempo de

tratamiento hasta 40 minutos lo que equivale a un volumen de 80 mL de agua tratada con concentración menor a 1.5mg/L. Es necesario determinar y llevar acabo ajustes del material utilizado en el filtro para aumentar el volumen de agua tratada, así como incorporar un diseño de filtro que nos permita mejorar las pruebas.

## CONCLUSIONES

Del estudio de caracterización se pudo determinar que la gamma alúmina sintetizada es de especial interés para la remoción de fluoruros ya que este tiene una superficie específica elevada, un tamaño de poro mayor que el carbón activado y mayor potencial z. De los estudios con el método estacionario para la remoción de fluoruros, las isoterma de Langmuir nos muestran que la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  tiene mejor capacidad de remoción de fluoruro.

Mediante el método de flujo continuo para la aplicación en un filtro es importante realizar con más pruebas y con diferentes tiempos de residencia del agua, un filtro capaz de adaptarse para uso domiciliario, determinar la cantidad de agua tratada y el tiempo de vida de este para que el agua tratada pueda ser apto para el consumo humano, obteniendo concentraciones de fluoruros por debajo de 1,5 mg/L como nos permite la norma.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Adrián Zamorategui Molina por instruirme durante la estancia, brindarme del apoyo y consejos valiosos durante la investigación.

Al Dr. Merced Martinez Rosales y al Dr. Julio del Ángel Soto por permitirme desarrollar mi investigación en su área de trabajo y aportarme conocimiento durante el trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Menakshi, Maheshwari, R.C. (2006). Fluoride in drinking water and its removal. *Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 456-463.
- [2] Diario Oficial de la Federación, (2000). MODIFICACION 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. 8/07/2015.

- [3] Ghorai, S., Pant, K.K. (2005). Equilibrium, kinetics and breakthrough studies for adsorption of fluoride on activated alumina. *Separation and Purification Technology*, 42(3), 265-271.
- [4] Flores de la Torre, J.A., Lopez Duran, F.A., Badillo Almaraz, V.E. & Badillo Almaraz, V. (2004). Estudio de la eliminación de flúor del agua potable utilizando materiales adsorbentes. 8/07/2015. Recuperado de [https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ijm/2004/pdf\\_files/1D-2.pdf](https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ijm/2004/pdf_files/1D-2.pdf)