

Tópico: 12. Biomateriales

Adsorbente celulosa/akaganita para remoción de arsénico en aguas subterráneas

M.C. Taleb^a, M.C. Balbi^a, S.A. Alconchel^b, M.G. Maximino^a

^a Instituto de Tecnología Celulósica, Santiago del Estero 2654, Santa Fe, CP: 3000, Argentina

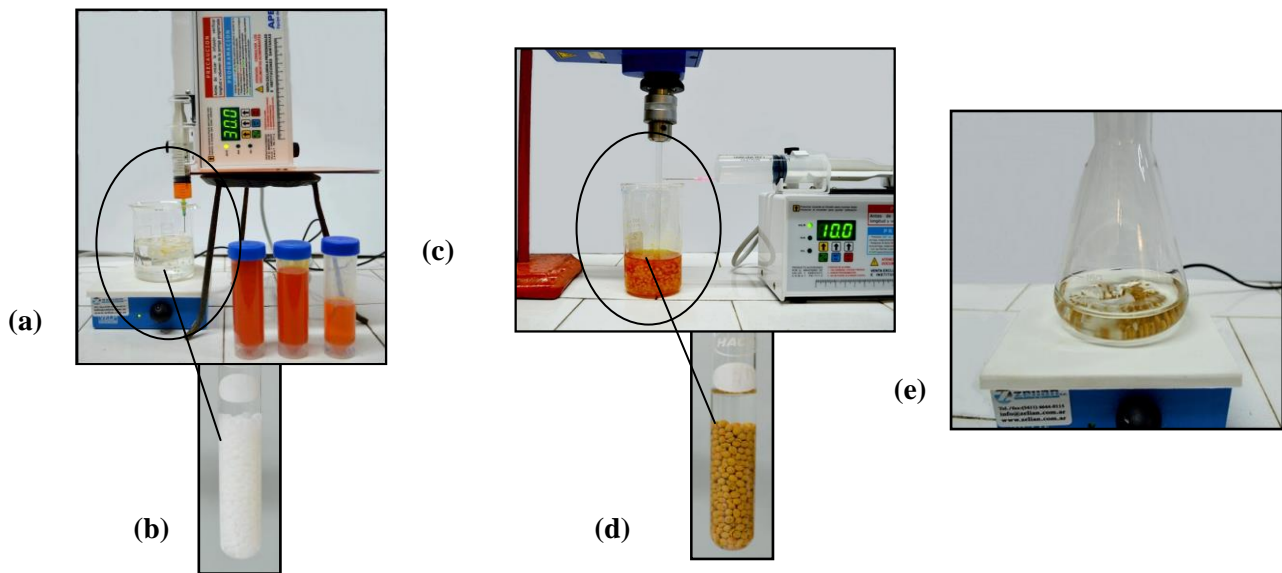
^b Departamento de Química, Santiago del Estero 2829, Santa Fe, CP: 3000, Argentina

Email: maximino@fiq.unl.edu.ar, turtaleb@fiq.unl.edu.ar, cecibalbi@hotmail.com, salco@fiq.unl.edu.ar, maximino@fiq.unl.edu.ar

Preferencia de presentación (oral o póster): Póster

Palabras Claves: Rayón de viscosa, celulosa/akaganita, arsénico, agua subterránea.

Resumen Gráfico:



En este trabajo se desarrolla un adsorbente celulosa/akaganita para la remoción de arsénico en aguas. A partir de viscosa, por goteo con bomba de jeringa en un baño ácido de coagulación y regeneración Fig. (a), se forman las esferas blancas de celulosa Fig. (b). Las esferas de diferentes concentraciones de celulosa en viscosa se recubren con Fe bajo la forma cristalina *akaganita*. El recubrimiento consiste en sucesivas cargas siguiendo un procedimiento de hidrólisis/precipitación a partir de una solución de cloruro férrico Fig. (c). Con el adsorbente obtenido Fig. (d), se realizan pruebas batch de remoción de arsénico Fig. (e). Se analizan las variables tiempo de tratamiento, relación agua:esferas, concentración inicial de As (V) en aguas e influencia de la concentración de Fe/mL esferas, en aguas sintéticas y naturales. Para los adsorbentes con distinta concentración de celulosa y a baja concentración inicial de As (V) (150ppb) se obtiene similar y alto nivel ($\cong 93\%$) de remoción de arsénico. A mayor concentración (1006ppb) fue necesario disminuir la relación agua:esferas para alcanzar dicha remoción. En pruebas con agua subterránea, para ambas relaciones, la adsorción de arsénico disminuyó respecto al agua sintética lo que muestra un importante efecto de matriz por la presencia de aniones que compiten por los centros activos.

Tópico: 12. Biomateriales

Adsorbente celulosa/akaganita para remoción de arsénico en aguas subterráneas

M.C. Taleb^a, M.C. Balbi^a, S.A. Alconchel^b, M.G. Maximino^{a,*}

^a Instituto de Tecnología Celulósica, Santiago del Estero 2654, Santa Fe, CP: 3000, Argentina

^b Departamento de Química, Santiago del Estero 2829, Santa Fe, CP: 3000, Argentina

*maximino@fiq.unl.edu.ar

ABSTRACT

Contamination by arsenic (As) in natural waters is a worldwide concern as it is hazardous to health and to the environment. The maximum contaminant level (MCL) in drinking water recommended by the World Health Organization is 10ppb. Among the treatment technologies for arsenic removal intended to reduce costs, maintain and/or improve efficiency, and minimize waste, those based on natural and/or synthetic adsorbents are the most important ones. Cellulose beads belong to the natural support and low cost group, suitable for depositing iron oxides as akaganite (β FeOOH), which is considered one of the most promising arsenic adsorbent. Different composite adsorbents were prepared from beads obtained by direct coagulation of viscose rayon solutions with two different cellulose contents. The cellulose beads were loaded, at moderate temperature, with akaganite following a process of hydrolysis / precipitation from a ferric chloride solution. This loading process was repeated several times. It was observed that Fe content decreases in the beads, at equal number of loads, as the cellulose percentage increases, which results in a lower calculated porosity. Batch tests of arsenic removal, using adsorbents with different cellulose and Fe contents, were performed to assess the effects of treatment times, volumetric ratio between water and beads, and initial concentration of arsenic in synthetic water. For both adsorbents and at a low initial concentration of As (V) (150ppb), a similar level of removal, approximately 93%, was obtained. For a higher concentration (1006ppb), it was necessary to reduce water:beads ratio to achieve similar results. Arsenic removal was significantly lower from groundwater (<76%) compared to synthetic water. This behavior shows a significant matrix effect due to the presence of competitive anions in the active centers.

Keywords: viscose rayon, cellulose beads/akaganite, arsenic, groundwater.

RESUMEN

La contaminación por arsénico (As) en aguas naturales es un problema a nivel mundial por las implicancias nocivas para el medio ambiente y la salud poblacional. El nivel máximo de As en aguas de consumo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 10ppb. Entre los métodos de tratamiento para la remoción de arsénico orientados a disminuir costos, conservar y/o mejorar la eficiencia y minimizar residuos, se destacan los que emplean adsorbentes naturales y/o sintéticos. Las esferas de celulosa pertenecen al grupo de soportes de origen natural y bajo costo, adecuadas para depositar óxidos de hierro bajo la forma cristalina akaganita (β FeOOH), uno de los adsorbentes de arsénico más promisorios. Se prepararon diferentes adsorbentes compuestos a partir de esferas obtenidas por coagulación directa de soluciones de rayón de viscosa con dos contenidos diferentes de celulosa. Se realizaron sucesivas cargas de las mismas con akaganita siguiendo un procedimiento de hidrólisis/precipitación a partir de una solución de cloruro férrico a temperaturas moderadas. Se observó que el contenido de Fe en las esferas disminuye, a igualdad de número de cargas, al aumentar el porcentaje de celulosa obteniéndose una porosidad calculada menor de las mismas. Mediante ensayos batch de remoción de arsénico con los adsorbentes de diferente contenido de celulosa y Fe, se evaluó el efecto del tiempo de tratamiento, la relación agua: esferas y la concentración inicial de arsénico en aguas sintéticas. Para ambos adsorbentes y a baja concentración inicial de As(V) (150ppb) se obtiene similar y alto nivel de remoción, aproximadamente 93%. Para mayor concentración (1006ppb) fue necesario disminuir la relación agua: esferas para alcanzar dicha retención. En aguas subterránea, la remoción de arsénico disminuyó considerablemente (< 76%) con respecto al agua sintética. Este comportamiento muestra un importante efecto de matriz por la presencia de aniones que compiten por los centros activos.

Palabras Clave: Rayón de viscosa, esferas celulosa/akaganita, arsénico, agua subterránea.

1. Introducción.

La contaminación con arsénico (As) en aguas naturales es un problema a nivel mundial. Es uno de los iones metálicos más tóxicos y posee un riesgo grave para la salud. La exposición al arsénico aguda y crónica a través del agua potable se ha informado en muchos países, sobre todo en Argentina, Bangladesh, India, México, Mongolia, Tailandia y Taiwán, donde una gran proporción de aguas subterráneas está contaminada con arsénico a niveles de 100 a 200 µg/L (1).

En medios acuáticos, el arsénico se encuentra como As (III) y As (V), dependiendo de las condiciones de óxido-reducción. El arsénico pentavalente, arseniato, es estable en condiciones oxidantes y existe como anión monovalente (H_2AsO_4^-) o divalente (HAsO_4^{2-}), mientras que el arsénico trivalente, arsenito, es estable en condiciones reductoras y se presenta como una especie no cargada (H_3AsO_3) o aniónica (H_2AsO_3^-). El As (III) es el más tóxico aunque el arsénico (V) es el más móvil (2).

Se han aplicado diferentes tecnologías para remover el arsénico de aguas contaminadas. Los métodos comúnmente aplicados incluyen: coprecipitación (usando $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ o FeCl_3) o coagulación con sales férricas o de aluminio tal como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. H_2O como coagulante (3,4), intercambio iónico (5), uso de medios de adsorción (6) o de hierro metálico (7,8) y ósmosis inversa y electrodiálisis (9).

Entre los posibles tratamientos, la adsorción se considera menos costosa que la filtración con membranas, más fácil de manejar que los residuos de precipitación y más versátil que los de intercambio iónico. Mohan y Pittman (10) presentaron un extenso *review* sobre la remoción de arsénico de aguas, aguas residuales y efluentes utilizando adsorbentes, dividiendo los mismos, en general, en dos clases: carbones activados comerciales y sintéticos y los adsorbentes de bajo costo.

El carbón activado es el adsorbente más popular y ampliamente utilizado a nivel mundial, pero el precio elevado y altos costos de regeneración limitan su uso a gran escala para remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos (11).

Se han publicado numerosos estudios sobre la utilización de adsorbentes convencionales tales como dióxido de titanio (12), zeolitas modificadas (13) u óxidos e hidróxidos de hierro (14) para la remoción de arsénico.

Asimismo, Chiban *et al.* revisaron las alternativas de aplicación de adsorbentes de bajo costo para la remoción de arsénico (15).

Durante la última década se ha investigado la posibilidad de remoción de arsénico utilizando materiales lignocelulósicos y residuos agrícolas. Pehlivan *et al.* (16) estudiaron la remoción de As (V) de soluciones acuosas empleando bagazo de caña de azúcar tratado con óxido férrico hidratado, sugiriendo como mecanismos involucrados en la remoción procesos de adsorción, precipitación superficial, intercambio iónico y formación de complejos sobre las superficies de las fibras tratadas. También se han utilizado otros tipos de biomasa tales como exoesqueleto de cangrejo (17), aserrín y fibra de coco (18).

Deliyanni *et al.* (20,21) sintetizaron un nuevo adsorbente *akaganita* ($\beta\text{-FeOOH}$) en el laboratorio por precipitación a partir de una solución acuosa de FeCl_3 y carbonato de amonio. El adsorbente retuvo su elevada área superficial y estructura cristalina durante mucho tiempo, aún después de su regeneración.

Zhao *et al.* (19) presentaron un completo *review* en el cual

resumen las aplicaciones de adsorbentes tipo *akaganita* en forma de polvo fino para la remoción de As (III) y (V), metales pesados y fosfatos, su utilización en forma granular: GFH (hidróxido férrico granular) y GAC-Fe (carbón activado granular cargado con hierro) y en materiales adsorbentes compuestos.

Los adsorbentes modificados superficialmente se han tornado muy importantes en los últimos años. Además de su utilización en forma granular se han empleado otros materiales compuestos soportados de hierro donde estas partículas se confinan en los poros del soporte, tales como arcillas (22) y polímeros (23).

Guo, en su tesis doctoral (24), preparó un nuevo adsorbente basado en celulosa esférica y oxihidróxido de hierro. Utilizó un proceso de carga continuo para distribuir en forma estable y homogéneamente *akaganita* ($\beta\text{-FeOOH}$) dentro de las esferas y estudió su aplicación para la remoción de arseniato y arsenito de aguas subterráneas. La capacidad de adsorción de arsenito fue 99,6 mg/g esferas y de arseniato 33,2 mg/g, a pH 7 con un contenido de hierro de 220 mg/mL (25). En un trabajo posterior concluye que tanto el arsenito como el arseniato fueron fuerte y específicamente adsorbidos por los centros de *akaganita* mediante un mecanismo de esfera interna (26).

La celulosa esférica junto con las esponjas y membranas celulósicas son representativas de una gama de productos innovadores basados en celulosa, polímero orgánico más abundante de la naturaleza. Las ventajas de estos materiales son la porosidad, hidrofiliidad, posibilidades de modificación tanto química como morfológica, elasticidad, materia prima renovable y además son biodegradables y biocompatibles.

Las partículas en forma esférica obtenidas a partir de polímeros naturales como dextrán, agarosa, celulosa son materiales que encuentran múltiples aplicaciones como soportes en los procesos de separación y concentración cromatográfica en medio acuoso, adsorción de metales pesados, soporte de principios activos en medicamentos de liberación controlada, inmovilización de enzimas, entre otras. La alta estabilidad mecánica permite utilizar la celulosa esférica en aplicaciones en columnas y filtros frente a otros soportes biopoliméricos. Stamberg (27) comparó la pérdida de carga en filtros preparados con esferas de celulosa y de dextrán, mostrando que el flujo a través del lecho de celulosa permanecía sin restricciones aún en condiciones donde los otros fueron bloqueados.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un adsorbente compuesto de esferas de celulosa/*akaganita*. Las esferas celulósicas de diferentes concentraciones de celulosa se recubrieron con distintas cantidades de Fe bajo la forma cristalina de *akaganita*. Luego, se analizó mediante pruebas batch de remoción de arsénico, las variables tiempo de tratamiento, relación agua:esferas, concentración inicial de As en agua e influencia de la cantidad de Fe/mL esferas, en aguas sintética y natural provenientes de localidades de Santa Fe, Argentina.

2. Experimental.

Preparación del soporte

La esferas de celulosa (soporte), se formaron a partir de soluciones de rayón de viscosa (28), con contenidos de 5,9% y 4,4% de celulosa en viscosa. La misma se llevó a cabo por goteo de la solución de viscosa con una bomba de jeringa a un caudal de

30 ml/h. La altura de caída se ajustó a 1,5 cm de la superficie del baño de coagulación y regeneración (H_2SO_4 12,5 % V/V y Na_2SO_4 anhidro 20 % P/V) a 25 °C (29). Las perlas se lavaron con abundante agua y se almacenaron en agua destilada.

Obtención de *akaganita*

Diferentes procedimientos se siguieron para obtener el oxihidróxido de hierro ($\beta\text{-FeOOH}$) como *Akaganita*. Las condiciones experimentales se establecieron con la metodología descrita por Guo. *et al* (25) mediante el procedimiento de hidrólisis/precipitación en sucesivas etapas. A una solución acuosa de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,37 M se agregó a caudal constante una solución acuosa de NaOH 1M como agente precipitante, a temperatura controlada (30 °C) y agitación continua (200 rpm) hasta pH final 5.

Preparación del adsorbente compuesto

Las diferentes esferas de celulosa se recubrieron con oxihidróxido de hierro (*akaganita*) mediante un proceso de cargas sucesivas siguiendo la metodología descrita anteriormente. Se analizó el efecto del contenido de celulosa en las esferas durante las cargas sucesivas. Aquellas preparadas con 5,9% de celulosa en viscosa se recubrieron con 6 cargas y las de 4,4% de celulosa en viscosa con 3, 4 y 6 cargas.

Pruebas batch de remoción de arsénico (As)

En los ensayos de adsorción batch se usaron soluciones acuosas de arsénico (V) formuladas en el laboratorio (aguas sintéticas) y muestras de aguas subterráneas provenientes de la Provincia de Santa Fe (aguas naturales). En las formulaciones de aguas sintéticas se utilizó un patrón de ácido arsénico (H_3AsO_4 en 0,5M de HNO_3) y las concentraciones usadas fueron de 150ppb y 1006ppb. La concentración de As (V), del agua subterránea natural analizada, fue de 1128ppb.

En las cuatro muestras de perlas, con distinto porcentaje de celulosa en viscosa y número de cargas, se evaluó la incidencia en la cantidad de arsénico no adsorbido por las mismas durante las pruebas batch. Todos los ensayos de remoción de As en aguas, se realizaron con 1 mL de perlas de celulosa. Se analizó la variación en la relación agua:perlas de 50:1 a 25:1. En cada prueba se evaluó el efecto del tiempo de tratamiento variando en 0,25; 0,5; 1; 4 y 8 h.

Procedimientos analíticos

El soporte de esferas de celulosa se caracterizó mediante análisis de imágenes de partículas húmedas por microscopía óptica provisto de cámara fotográfica (OLYMPUS BX51). La distribución de tamaño de las perlas celulósicas se determinó estadísticamente a partir de la medición de sus diámetros y se calcularon la circularidad y la porosidad de las mismas. La forma y superficie se observó en un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM - FEI Quanta 250).

El oxihidróxido de hierro (*akaganita*) obtenido se identificó mediante difracción de Rayos X (XRD - Shimadzu XD-D1). La cuantificación del contenido de hierro en el adsorbente se realizó por espectrofotometría UV-Vis a 510nm (Shimadzu UV-160 1PC) previa extracción en HCl concentrado.

En las diferentes pruebas batch se determinó la concentración de As no adsorbido por Espectrometría de Absorción atómica con generación de hidruro e inyección en flujo (FI-HG AAS).

3. Resultados y Discusión.

El tamaño, distribución y porosidad del soporte de celulosa con distinta concentración de celulosa en viscosa se realizó por análisis de imagen midiendo los diámetros de las mismas.

La Tabla 1 muestra los resultados del diámetro promedio y la porosidad de las perlas con distinta cantidad de celulosa. En la misma se puede observar que ambas propiedades disminuyen al incrementar el porcentaje de celulosa en viscosa. Esto podría explicarse teniendo en cuenta que cuando la concentración de celulosa es menor, aumentaría la cantidad de espacios vacíos capaces de contener agua.

% Celulosa en viscosa	Diámetro promedio [mm]	Porosidad [%]*
4,4	2,4	90,2
5,9	2,2	86,8

* relación entre el volumen de agua contenido en ellas y su volumen total

Tabla 1. Propiedades del soporte de perlas celulósicas.

La Figura 1 muestra la forma y superficie de una esfera de celulosa tomada al azar obtenida por ESEM y donde se pueden observar su elevada porosidad.

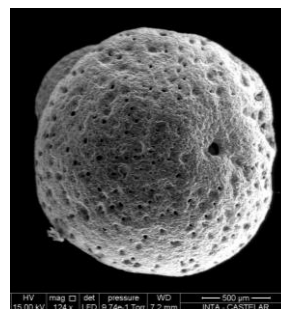


Fig. 1. Micrografía de una esfera de celulosa por ESEM.

La identificación del mineral de hierro preparado solo y el depositado en el soporte de celulosa se llevó a cabo por difracción de rayos X, como se muestra en la Figura 2.

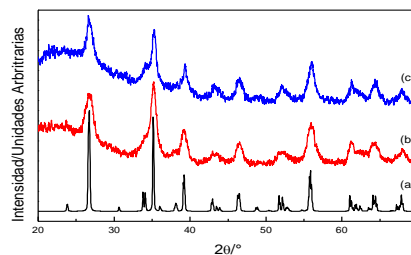


Fig. 2. Difractogramas de (a) Patrón *akaganite* (PDF 42-1315), (b) *akaganite* obtenida en laboratorio, (c) Adsorbente compuesto de esferas celulósicas/*akaganite*.

En la misma se pueden apreciar los difractogramas correspondientes al patrón de *akaganite* (a), el oxihidróxido de

hierro obtenido en el laboratorio (b) y el cargado en la celulosa esférica (c). Las señales encontradas para ambos materiales, revelan la formación de *akaganita*.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la cuantificación del hierro de esferas cargadas en función del contenido de celulosa y el número de cargas en las mismas. Para las partículas con menor porcentaje de celulosa en viscosa (4,4%), a medida que aumenta el número de cargas, el contenido de hierro aumentó con el número de cargas y manteniéndose la estructura de las partículas aun con 6 cargas. Comparativamente las esferas con 5,9% de celulosa y una porosidad calculada menor (Tabla 1) a igualdad de número de cargas, alcanzan menor contenido de Fe, verificándose la ruptura de importante cantidad de esferas al finalizar el proceso de deposición.

N° Cargas	mg Fe/mL perlas	
	% Celulosa en viscosa	
	4,4	5,9
3	53	
4	68	
6	109	73

Tabla 2. Cuantificación de Fe en las esferas en función del contenido de celulosa en viscosa y del número de cargas.

En las pruebas batch de remoción de arsénico en aguas, se estudió la incidencia del tiempo de tratamiento en ambos adsorbentes y con 6 cargas de Fe, la concentración inicial del patrón de As (V) de 150ppb y la relación agua:esferas de 50:1. En la Figura 3 se observa, para ambos adsorbentes, que a partir de 1 h de tratamiento se alcanzan valores asintóticos en la cantidad de As (V) retenido en las esferas de aproximadamente 93%.

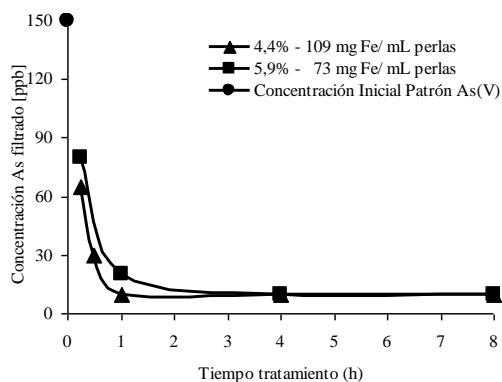


Fig. 3. Incidencia del tiempo de tratamiento en pruebas batch. H₂O Sintética con C_{inicial As}=150ppb.

Luego, se analizó la influencia de la concentración inicial de arsénico, partiendo de aguas sintéticas con 150ppb y 1006ppb de As (V) y utilizando las esferas con menor contenido de celulosa (4,4%) y carga de hierro de 109 mg Fe/mL esferas durante 1 hora de tratamiento. En la Tabla 3 se observa que al aumentar la concentración inicial del patrón, la cantidad de As (V) retenido en las esferas disminuye, cuando se trabaja con relación 50:1, de

93% a 72%. Posteriormente, al disminuir la relación agua:adsorbente a 25:1 se alcanza una remoción de As(V) similar a la inicial de 97%.

H ₂ O	Relación H ₂ O:Perlas	[As]		(% Variación [As])
		Inicial (ppb)	Filtrado (ppb)	
Sintética	50:1	150	<10	93
		1006	283	72
	25:1	1006	29	97
Natural	50:1	1128	460	59
	25:1		267	76

Tabla 3. Incidencia de la concentración inicial de As (V) y relación volumen de agua a volumen de esferas en pruebas batch.

Para el agua natural analizada con una concentración inicial de As de 1128 ppb retuvo el 59% y el 76% con la relación 50:1 y 25:1 respectivamente. Esta disminución del arsénico retenido en la prueba del agua natural con respecto al agua sintética, se podría atribuir a un importante efecto de matriz por la competición de aniones por los centros activos del adsorbente.

4. Conclusiones.

En el marco del trabajo desarrollado se puede concluir:

Se obtuvo el adsorbente compuesto de celulosa regenerada/akaganita con distintos contenidos de celulosa y diferentes cantidades de hierro depositado.

El adsorbente preparado con menor contenido de celulosa permitió, a igualdad de número de cargas, mayor cantidad de akaganita sin alteración de las esferas de celulosa iniciales.

El nivel de remoción de As (V) de este adsorbente compuesto, al incrementar la concentración inicial de patrón de 150ppb a 1006ppb en un agua sintética, solo pudo mantenerse en el orden de 95% al disminuir la relación agua:esferas a 25:1.

Para el caso del agua natural analizada de 1128ppb de As (V) inicial, se alcanzan valores menores de retención, obteniendo solo una remoción del 76% a la menor relación agua:adsorbente (25:1). Este comportamiento se puede atribuir a que en fuentes de agua subterránea pueden existir varios componentes aniónicos, que podrían competir con el arsénico por los sitios de adsorción disponibles en el adsorbente.

La continuidad de este trabajo comprende la realización de ensayos dinámicos de adsorción utilizando mini-columnas de lecho fijo a temperatura y flujo constantes con el adsorbente compuesto desarrollado. Por otra parte evaluar la capacidad de regeneración del adsorbente saturado de arsénico.

Agradecimientos

Agradecimientos: a Mirna Sigrist del Programa de Investigación y Análisis de residuos y contaminantes químicos (PRINARC) por las determinaciones por FI-HG AAS y a Ana Maria Adell, Federico Yabale y Natalia Iglesias por su colaboración en el trabajo experimental.

REFERENCIAS

- [1] P. L. Smedley, D.G. Kinniburgh. "A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters". *Appl. Geochem* **2002** 17, 517-568.
- [2] M.A. Lopez-Leal, R. Cortés Martínez, *et al.* "Arsenate biosorption by iron-modified pine sawdust in batch systems: Kinetics and equilibrium studies". *BioResources*, **2012**, 7(2), 1389-1404.
- [3] J.G. Hering, P.-Y. Chen, *et al.* "Arsenic removal from drinking water by coagulation". *J. Environ. Eng.*, **1997**, 23, 800-807.
- [4] X.G. Meng, G.P. Korfiatis, *et al.* "Combined effects of anions on arsenic removal by iron hydroxides". *Toxicol. Lett.* **2002**, 133, 103-111.
- [5] F.G.A. Vagliasindi, M.M. Benjamin. "Arsenic removal in fresh and non-preloaded ion exchange packed bed adsorption reactors". *Water Sci. Technol.* **1998**, 38(6), 337-343.
- [6] T.S. Singh, K.K. Pant. "Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies for adsorption of As(III) on activated alumina". *Sep. Purif. Technol.* **2004**, 36, 139-147.
- [7] J.A. Lackovic, N.P. Nikolaidis, G.M. Dobbs. "Inorganic arsenic removal by zero-valent iron". *Environ. Eng. Sci.* **2000**, 17(1), 29-39.
- [8] C. Su, R.W. Puls. "Arsenate and arsenite removal by zerovalent iron: kinetics redox transformation and implications for in situ groundwater remediation". *Environ. Sci. Technol.* **2001**, 35, 1487-1492.
- [9] J.J. Waypa, M. Elimelech, J.G. Hering. "Arsenic removal by RO and NF membranes". *J.-Am. Water Works Assoc.* **1997**, 89 (10), 102-116.
- [10] D. Mohan, C. U. Pittman. "Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents - A critical review". *J. Hazard. Mater.*, **2007**, 142, 1-53.
- [11] S. E. Bailey, T. J. Olin, *et al.* "A review of potentially low cost sorbents for heavy metals". *Water Res.*, **1999**, 33:2469-2479.
- [12] P.K. Dutta, A.K. Raya, *et al.* "Adsorption of arsenate and arsenite on titanium dioxide suspensions". *J. Colloid Interf. Sci.*, **2004**, 278(2), 270-275.
- [13] M.J. Jiménez-Cedillo, M.T. Olguín, Ch. Fall. "Adsorption kinetic of arsenates as water pollutant on iron, manganese and iron-manganese-modified clinoptilolite-rich tuffs". *J. Hazard. Mater* **2009**, 163(2-3), 939-945.
- [14] P. Lakshminathiraj, B.R. Narasimhan, *et al.* "Adsorption of arsenate on synthetic goethite from aqueous solution". *J. Hazard. Mater* **2006**, 136(2), 281-287.
- [15] M. Chiban, M. Zerbet, *et al.* "Application of low-cost adsorbents for arsenic removal; A review". *J. Environ. Chem. Ecotoxicol.* **2012**, 4(5): 91-102.
- [16] E. Pehlivan, H.T. Tran., *et al.* "Sugarcane bagasse treated with hydrous ferric oxide as a potential adsorbent for the removal of As (V) from aqueous solutions". *Food Chemistry*, **2013**, 133-138.
- [17] K. Vijayaraghavan, A. Mahadevan, *et al.* "Biosorption of As (V) onto shells of the crab (*Portunus sanguinolentus*): Equilibrium and kinetics studies". *Ind. Eng. Chem. Res.* **2009**, 48(7), 3589-3594.
- [18] J.C. Igwe, E.C. Nwokennaya, A.A. Abia. "The role of pH in heavy metal detoxification by biosorption from aqueous solutions containing chelating agents". *Afr. J. Biotechnol.* **2005**, 4(10), 1109-1112.
- [19] J. Zhao, W. Lin, *et al.* "Adsorptive characteristics of akaganeite and its environmental applications: a review". *Environ. Technol. Review* **2012**, 1(1), 114-126.
- [20] E.A. Deliyanni, D.N. Bakoyannakis, *et al.* "Sorption of As(V) ions by akaganeite-type nanocrystals Chemosphere" **2003**, 50, 155-163.
- [21] Citado en 19) E.A. Deliyanni, E.N. Peleka and K.A. Matis. "Effect of cationic surfactant on the adsorption of arsenites onto akaganeite nanocrystals". *Sep. Sci. Technol.* **2007**, 42, 993-1012.
- [22] J.C. Villalba, V.R.L. Constantino and Anaissi, "Iron oxyhydroxide nanostructured in montmorillonite clays: Preparation and characterization". *J. Colloid Interface Sci.* **2010**, 349, 49-55
- [23] C.M. Iesan, C. Capat, F. Ruta, and Udrea. "Evaluation of a novel hybrid inorganic/organic polymer type material in the arsenic removal process from drinking water". *Water Res.* **2008**, 4, 4327-4333.
- [24] X. Guo Ph.D. Thesis, Nankai University, China, **2005**.
- [25] X. Guo, F.Chen. "Removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide from groundwater". *Environ. Sci. Technol.*, **2005**, 39(17), 6808-6818.
- [26] X. Guo, Y. Du, *et al.* "Mechanism of removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide (β -FeOOH): EXAFS study". *J. Colloid and Interface Sci.*, **2007**, 314 (2), 427-433.
- [27] J. Stamberg. "Bead cellulose. Separation and Purification Methods". **1988**, 17(2), 155-183.
- [28] D. Lanieri, G. Olmos, *et al.* "Rapid estimation of gamma number of viscose by UV spectrophotometry" *O Papel* 75 (**2014**) 60-65.
- [29] G. Olmos, M. C. Taleb, *et al.* "Obtención de productos regenerados de celulosa a partir de solución de viscosa". 14° SAM-CONAMET / IBEROMAT **2014** - XIII SIMPOSIO MATERIA.