



3^{er}

CONGRESO NACIONAL

AMICA

Villahermosa Tabasco

XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe
Primer Simposio Interamericano de AIDIS Joven y
Primer Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación de Tecnología
Ambiental, EJITA, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, UJAT.



Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

INFLUENCIA DEL pH EN LOS PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN DE LODOS QUE CONTIENEN ARSÉNICO

*Garrido Hoyos Sofía Esperanza¹, García Mendoza Karina¹, Miranda Zamora Estefanía²,
López Flores Bétsabe²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Posgrado, Paseo Cuauhnáhuac, 8532, Col. Progreso. C.P.62550, Jiutepec, Morelos, México. *Autor e-mail: *sgarrido@tlaloc.imta.mx, karinagm04@gmail.com

²Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Boulevard Cuauhnáhuac #566, Col. Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos. CP 62550 México. mzeo130806@upemor.edu.mx, lfbo141154@upemor.edu.mx.

Resumen

El arsénico es considerado cancerígeno para los humanos cuando el consumo de aguas arsenicales es prolongado. En muchos lugares la única fuente de agua para uso y consumo humano contiene arsénico (As) en solución, por lo que resulta necesario tratar este tipo de agua; en estos tratamientos de remoción, se produce un residuo que al cambiar las condiciones ambientales como, pH, potencial redox, se convierte en tóxico. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar la influencia de propiedades fisicoquímicas en los procesos de acondicionamiento y deshidratación de lodos generados en los procesos de coagulación-floculación de agua que contiene As(V). Las propiedades que influyen en el acondicionamiento químico y cinética de drenado en el proceso de deshidratación son, pH, Dosificación de polímero, tiempo y velocidad de agitación. Se determinó que el pH en el proceso de acondicionamiento si influye en la deshidratación de lodos con As, siendo el pH 7, el que muestra diferencias significativas en el acondicionamiento del lodo, mejorando la etapa de deshidratación.

Palabras clave: Arsénico, acondicionamiento, deshidratación, cinética, drenado.

Introducción

El Arsénico (As) se clasifica químicamente como un metaloide, con valencias de As^{3+} , As^{5+} , As^{3-} , los cambios en el estado de ionización para el arsenito y arsenato ocurren a diferentes pHs y potencial redox. Se han documentado los efectos tóxicos del arsénico que dependen de la concentración de arsénico en el momento de la exposición, la frecuencia de la exposición, la duración de la exposición, y el tipo de arsénico presente durante la exposición. Por lo que se considera según la ATSDR (2007), exposición aguda: >2 mg/kg/d y exposición crónica: 0.03-0.1 mg/kg/d. Por lo anteriormente mencionado, diferentes dependencias han establecido los siguientes límites máximos permisibles de As en agua, Organización Mundial de la Salud (OMS) y Riesgo de Cáncer Agencia de Protección Ambiental (EPA) 0.010 mg/L y Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994 0.025 mg/L.

En la remoción de arsénico del agua para consumo humano mediante diferentes sistemas de tratamiento se generan residuos, los cuales deben ser minimizados en las etapas iniciales mediante la selección de: Fuente de agua cruda, proceso de tratamiento, configuración

hidráulica de las unidades de proceso, reactivos químicos dosificados, medios o membranas: filtrante, adsorbente e intercambiador iónico.

Por lo que es importante el tratamiento de los lodos con As generados en las plantas potabilizadoras, así como eliminar parcial o totalmente el agua que contienen y así disminuir su volumen para facilitar las operaciones de transporte y disposición final. Entre los métodos de tratamiento para reducir el volumen de lodos se encuentran los siguientes: espesamiento, acondicionamiento químico y deshidratación.

Actualmente en las plantas de tratamiento se prevén instalaciones para su deshidratación, pero no existen suficientes estudios sobre la caracterización, las propiedades físicas y químicas de los lodos para su posterior tratamiento y disposición de una manera adecuada.

El objetivo de este trabajo es analizar las propiedades físicas y químicas en el proceso de acondicionamiento químico de los lodos generados en la coagulación-floculación de agua que contiene arsénico a diferentes pH's, para la optimización de cinéticas de drenado en el

Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

proceso de deshidratación de lodos para una adecuada disposición final.

Metodología

Para la optimización de los procesos de espesamiento acondicionamiento químico, y deshidratación de los residuos generados en la coagulación-floculación de agua que contienen arsénico se realizó de la siguiente manera:

En primer lugar, se realizó la remoción de arsénico en agua para consumo humano, para obtener los lodos provenientes de los procesos de coagulación floculación sedimentación a partir de tres concentraciones iniciales de arsénico (V) 0.050 mg/L, 0.100 mg/L y 0.150 mg/L. Se adiciono arsenato de sodio al agua de pozo, ubicado en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Las variables consideradas para realizar el diseño experimental se establecieron por estudios realizados por Garrido *et al.* (2013) a: (A): pH 6.5, 7.0 y 7.5, (B) Dosificación de coagulante (FeCl_3) 20, 30 y 40 mg/L (relaciones de Fe(III) -mg dosificado/ As(V) - μg removido: 1:20, 1:30, 1:40); (C): polímero catiónico C-496 HMW, gradientes de velocidad en la mezcla rápida: $380 \text{ s}^{-1}/10 \text{ s}$; mezcla lenta: $60 \text{ s}^{-1}/5 \text{ min}$; $25 \text{ s}^{-1}/5 \text{ min}$; $12 \text{ s}^{-1}/5 \text{ min}$ y $10 \text{ s}^{-1}/5 \text{ min}$, sedimentación 10 min. El equipo utilizado fue la prueba de Jarras marca Phipps & Bird con un intervalo de operación de 0-300 rpm, el cual está compuesto por seis jarras de 2 L de capacidad cada una. El diseño experimental fue un central compuesto: $N=2^3$; y como variables de respuesta: sólidos sedimentables (SSED) y concentración en el sobrenadante de As, con el software, Statgraphics versión XVII.

Posteriormente se analizaron las propiedades físicas y químicas del lodo proveniente de los procesos coagulación-floculación. Como propiedades físicas: Humedad del lodo (c_i), Humedad de la torta (c_f), Sólidos en la torta húmeda, Sólidos en la torta seca, Resistencia específica a la filtración (REF), Tiempo de filtración (tF), Compresibilidad, según (Cornwell, *et al.* 1987) Sólidos totales, según (NMX-AA-034-SCFI-2015), Sólidos sedimentables, según (NMX-AA-004-SCFI-2013) Densidad, Índice de floculación de Willcomb y Potencial Z (Microtrac, Zeta Check). Propiedades Químicas: Distribución de la humedad, según Coackley (1962), Arsénico, Hierro, por (Espectrofotometría, Shimadzu UV-1800) y pH (NMX-AA-008-SCFI-2011).

En segundo lugar, para el acondicionamiento químico de los lodos obtenidos anteriormente y espesados por gravedad durante 12 h, se realizó el ajuste de diferentes pH's, (3, 4, 5, 5.55, 6, 6.5, y 7), se dosifico 800 mg/L, del

polímero aniónico (AN 913 VHM), una velocidad en la mezcla rápida: 100 rpm/9 s; mezcla lenta: 30 rpm/14 s y una sedimentación de 1 min.

Posteriormente los lodos obtenidos acondicionados a diferentes pH's, se le analizaron las características y propiedades físicas y químicas de acuerdo a lo descrito anteriormente.

En tercer lugar, la deshidratación del lodo acondicionado químicamente a diferentes pH's, se llevó a cabo en un equipo de filtro banda (Bootest-IFTL). El equipo cuenta con dos celdas con volumen máximo de 1.35 L, el ensayo se realizó con un volumen de 500 mL, en el que se determinó la cinética de drenado mediante la cantidad de sólidos totales retenidos en una malla de polipropileno estilo NFMM 302 con una permeabilidad de $80\text{-}100 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ min}$, por otra parte se determinaron los sólidos suspendidos totales en el volumen drenado, para obtener el índice de drenado (Eg), (García, 2017).

Resultados y discusión

Los valores óptimos de las variables en la remoción de arsénico para una concentración inicial de As de 0.150 mg/L y el polímero C-496 HMW el cual fue el que mejor comportamiento tuvo en las pruebas: (A) pH: 7.20; (B) Dosificación de FeCl_3 : 34,33 mg/L; (C) Dosificación del polímero: 0,89 mg/L. La variable de respuesta de concentración de As en el sobrenadante fue $<0,003 \text{ mg/L}$ y SSED de 7.59 mL/L. La concentración de hierro en el sobrenadante fue de 0.058 mg/L.

Estos resultados, bajo análisis de varianza ANOVA, revelaron que, para un intervalo de confianza del 95%, las tres variables (A), (B) y (C) muestran diferencias estadísticamente significativas, con un valor de $P<0,05$, Figura 1.

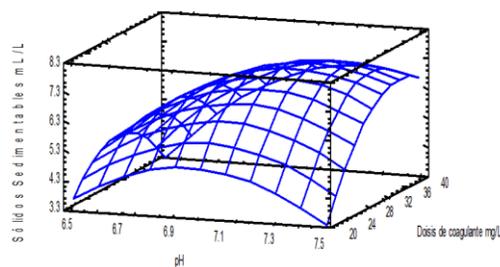


Figura 1. Superficie de respuesta (A) y (B) optimizado. Concentración de As 0.150 mg/L, polímero C-496 HMW, R^2 : 85.09% y R^2 (ajustada g.l.): 68.31%

En la Tabla 1 se observan las propiedades físicas y químicas del lodo inicial obtenidas de la remoción de arsénico para consumo humano para la prueba en que se optimizaron las variables (A), (B) y (C).

Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

Tabla 1. Valores óptimos de las propiedades Físicas y químicas de lodo con As

Parámetro	Óptimo inicial lodos de la C-F
<i>Propiedades Físicas</i>	
Índice de Willcomb	8
Sólidos totales (g/L)	0.48
Sólidos sedimentables (mL/L)	7.59
Sólidos en la torta humedad (g/L)	2.904
Sólidos en la torta seca (g/L)	0.405
Humedad del lodo (c _i) (%)	99.95
Humedad de la torta (c _f) (%)	86.07
Densidad (g/mL 25°C)	1.0100
Densidad (g/mL 70°C)	0.9749
Potencial Z (mV)	-57.1
<i>Propiedades Químicas</i>	
pH	6.7
Arsénico en el sobrenadante (mg/L)	0
Hierro en lodo (mg/L)	655.9

*Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente;
 C-F: Proceso de Coagulación-Floculación

Los valores obtenidos para las propiedades físicas de Resistencia específica a la filtración (REF), compresibilidad y tiempo de filtración (tF), se muestran en las Figuras 2 y 3, las cuales se obtuvieron aplicando la ley de Poiseuille-D'Arcy, de la cual se obtiene la ecuación básica de filtración (Cornwell, *et al.*, 1987; Ramalho, 1993). Ecuación (1).

$$\frac{dV}{dt} = \frac{PA^2}{\mu(rcV + R_m A)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

- V = Volumen de filtrado (m³)
- t = Tiempo de filtración (s)
- P = Presión de vacío aplicado (dinas/cm² = g/cm. s²)
- A = Área de filtración (cm²)
- μ = Viscosidad del filtrado (poise = g/cm. s)
- r = Resistencia específica de la torta al paso del filtrado (cm/g)
- c = Concentración de sólidos depositados por unidad de volumen de filtrado (g/cm³)
- R_m = Resistencia inicial del medio filtrante (generalmente despreciable cm/g).

La integración y ordenación de la Ecuación (1) permite el cálculo de la resistencia específica (r), obteniendo (Ecuación 2):

$$\frac{t}{V} = \left(\frac{\mu r c}{2PA^2} \right) V + \frac{\mu R_m}{AP} \quad \text{Ecuación (2)}$$

De la Ecuación (2) se deriva que el gráfico de t/V en función de V daría una línea recta del tipo y = bx + a, donde:

$$b = \frac{\mu r c}{2PA^2} \quad a = \frac{\mu R_m}{PA}$$

Si se considera despreciable la resistencia del medio filtrante R_m y a b (s/cm⁶) como la pendiente, la resistencia específica a la filtración está dada por la Ecuación (3):

$$r = \frac{2PA^2 b}{\mu c} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Se observa en la Figura 2 y Figura 3 que al aumentar la presión diferencial se produce un cierre de los poros de la torta, lo que da una resistencia mayor a la filtración, hasta obtener la deshidratación por aplastamiento de la torta de lodos.

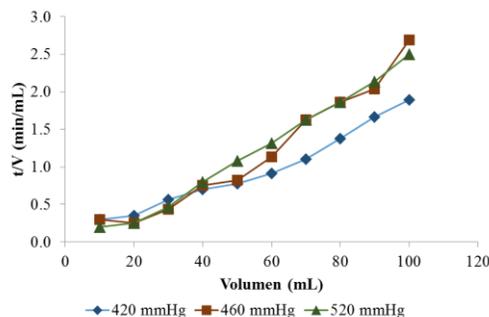


Figura 2. Resistencia específica a la filtración a diferentes presiones 420, 460 y 520 mmHg

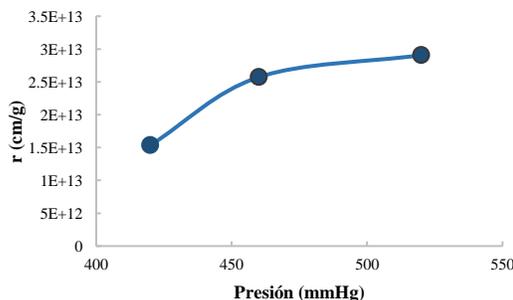


Figura 3. Compresibilidad para lodos con As a tres diferentes presiones: 40.71 cm²; μ (20°C): 0.01 Poise (g/cm s); c: 5.01⁻⁴ g/cm³

El tiempo de filtración (tF) se determinó en 107 s, para un volumen inicial de 100 mL.

El porcentaje de humedad como característica química del lodo inicial se calculó con la ecuación (4):

$$\text{Porcentaje de humedad} = \left(P_i - \frac{P_t}{P_i} \right) 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

Donde P_i = Peso inicial de la muestra de lodo (g); P_t = Peso del lodo a cada intervalo de tiempo (g)

Posteriormente una vez espesado el lodo por gravedad durante (12 h), se realizó el acondicionamiento de éstos, ajustando el pH a los valores de, (3, 4, 5, 5.55, 6, 6.5, y 7), por último, se dosificó 800 mg/L, del polímero AN 913 VHM.

Como se observa en la Tabla 2, las características y propiedades físicas y químicas de los lodos acondicionados a diferentes pH's mejoran significativamente con respecto al lodo inicial obtenido en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación (Tabla 1): para los sólidos en la torta húmeda, potencial Z, la humedad del lodo y la humedad de la torta los valores obtenidos a pH 7 son menores, mejorando la deshidratación, en el índice de Floculación de Willcomb, el floc es bueno, precipita fácil y completamente facilitando la compactación del lodo.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del lodo espesado y acondicionado a diferentes pHs.

Parámetro	pH						
	3	4	5	5.5	6	6.5	7
Propiedades Físicas							
Índice de Willcomb	6	6	8	8	8	8	*10
Sólidos totales (g/L)	10.6	12.9	11.9	12	7.2	9.8	10
Sólidos sedimentables (mL/L)	500	500	500	500	500	500	500
Sólidos en la torta humedad (g/L)	7.2	7.6	7.2	7.3	6.7	9.0	6.5
Sólidos en la torta seca (g/L)	1.9	1.9	2.1	2.3	1.8	1.7	2.1
Humedad del lodo (c_i) (%)	92	90	91	91	92	90	89
Humedad de la torta (c_t) (%)	73	75	70	68	73	81	68
Potencial Z (mV)	-13	-28	-32	-38	-39	-48	-50
Propiedades Químicas							
pH (final)	2.9	4.3	6.0	6.6	6.9	7.2	7.4

*Bueno. Flóculo que se deposita fácil y completamente

El contenido de humedad en los lodos en el acondicionamiento químico está relacionado con la distribución del contenido de agua, para el pH 7 la humedad intersticial contiene el 69.28%, la humedad superficial 13.07%, humedad libre 9.15% (no asociada con las partículas sólidas) y termodinámicamente se comporta como agua pura y finalmente la humedad químicamente ligada contiene el 8.49%, el pH 7 obtuvo

menor tiempo de evaporación en el lodo (76.5 min). La curva de evaporación para el lodo a diferentes pH's muestra una tendencia similar para los pHs 4, 5, 5.5, 6, 6.5 y 7, se observa que, a mayor pH, menor es el tiempo de pérdida de humedad, a diferencia del pH 3, que incrementa el tiempo de distribución en la humedad libre y químicamente ligada, (Figura 4). En el sobrenadante la concentración de arsénico fue menor de 0.0001 mg/L, de hierro 1.8 mg/L para el pH 3 y para el resto de los pHs menor de 0.001 mg/L, color verdadero presento valores de 12 UPT-Co (pH 3), 9.6 UPT-Co (pH 6.5), 11 UPT-Co (pH 7) y valores de 0 UPT-Co (pH 4, 5, 5.5 y 6).

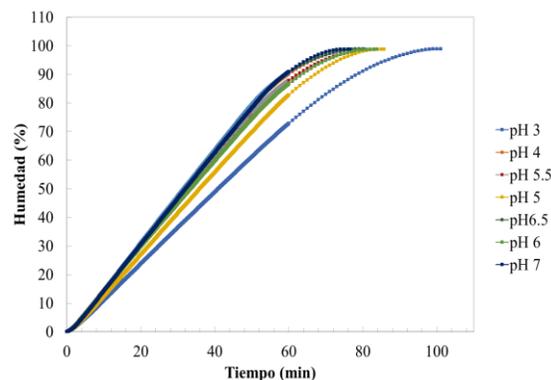


Figura 4 Curva de evaporación en el proceso de acondicionamiento a diferentes pHs.

En cuanto a la resistencia específica a la filtración es directamente proporcional al tiempo a la filtración, y en esta técnica se comprueba nuevamente que el pH si influye en el proceso de deshidratación de lodos, (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de REF y tF en el lodo acondicionado a diferentes pHs.

pH	r (cm/g)	tF (s)
3	5.2887E+14	698
4	1.847E+14	289
5	1.4256E+14	203
5.5	3.8447E+15	246
6	1.1776E+14	204
6.5	1.0818E+14	150
7	1.7229E+13	100

El tiempo a la filtración (tF) y la REF a diferentes pHs nos permite analizar un comportamiento de pérdida de humedad. Al comparar el pH 3 y 7 se observa que los lodos a pH 3 presentan una mayor REF, esto debido a la

Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

composición del lodo y la distribución que presentan las partículas así como el tamaño y resistencia del floc, Figura 5).

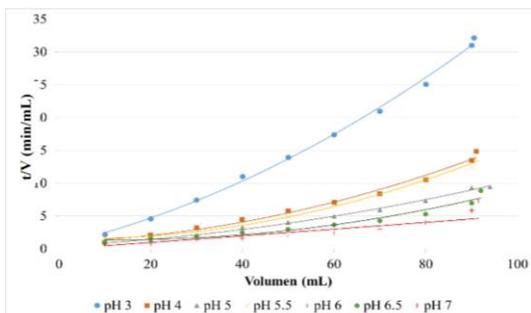


Figura 5 Comparación de las interacciones de tiempo y volumen en la técnica de REF, de lodos acondicionados a diferentes pHs.

Una vez estudiadas las propiedades físicas y químicas del proceso de acondicionamiento a diferentes pH's, se llevó a cabo la deshidratación en el filtro banda (Bootest), bajo condiciones óptimas de la etapa de acondicionamiento. En la Figura 6 se muestra la cinética de drenado del lodo posterior a su acondicionamiento, se observa una cinética de drenado para el pH 3 del 90%, esto se atribuye a la distribución y tamaño del Floc en el proceso de acondicionamiento, de esta manera no fue obtenida una torta estable en la malla permeada, pasando prácticamente todo el lodo por la malla, de esta manera se pudo observar que el lodo drenado a pH 7 obtuvo una mejor cinética respecto al lodo retenido en la malla.

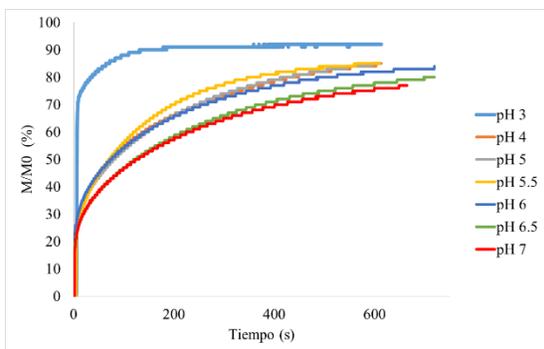


Figura 6 Curva de drenado en filtro banda Bootest

Posteriormente se realizaron los cálculos para determinar el índice de drenado (Eg), de la siguiente manera;

P1 se refiere a la concentración máxima de sólidos en el lodo.

$$P_1 = \frac{S_{if}}{S_{i0}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

Si: Cantidad de sólidos totales inicial (g/L)

Sio: Cantidad de sólidos totales final (g/L)

El valor de P2 se obtiene realizando una cinética de liberación de agua, (Figura 6). Para ello se grafica M/M0, M: Masa de lodo filtrada, M0: Masa de lodo inicial. Con ello se obtiene el valor de (t90).

$$P_2 = \frac{t_{90}}{60} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

t90: Tiempo mínimo para recuperar el 90% de la masa total del filtrado (s).

60: Se refiere que el 90% de la masa total se filtre en menos de 60 segundos.

El valor de P3 tiene como objetivo que el volumen filtrado contenga un valor inferior a 1% de sólidos que al inicio.

$$P_3 = \frac{SM_r}{S_{i0}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

SMr: Cantidad de sólidos suspendidos en volumen filtrado, (g/L).

Sio: Cantidad de sólidos totales final, (g/L).

$$Eg = \ln \frac{P1}{P2^\alpha * P3^\beta} = \ln \left(\frac{\frac{S_{if}}{S_{i0}}}{\left(\frac{t_{90}}{60}\right)^3 \left(\frac{SM_r}{S_{i0}}\right)^{\frac{1}{4}}}\right) \quad \text{Ecuación (8)}$$

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para los dos tipos de lodos P1 y P2, aplicando las ecuaciones (5), (6), (7) y (8) para el proceso de deshidratación por filtro banda.

Tabla 5. Resultados obtenidos en el proceso de deshidratación para filtro banda

pH	t90	P2	P1	P3	Eg
3	48.69	0.812	27.784	0.04	4.8
4	349.00	5.817	15.134	0.21	-2.2
5	339.00	5.650	5.302	0.18	-3.1
5.5	280.00	4.667	5.566	0.20	-2.5



3^{er}

CONGRESO NACIONAL

AMICA

Villahermosa Tabasco

XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe
 Primer Simposio Interamericano de AIDIS Joven y
 Primer Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación de Tecnología
 Ambiental, EJITA, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, UJAT.



Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible

6	356.00	5.933	5.566	0.20	-3.2
6.5	412.95	6.883	5.566	0.20	-3.7
7	390.00	6.500	5.566	0.20	-3.5

En la obtención del índice de drenado del lodo (Eg), se observa que el t_{90} tiene valores de hasta 412.95 s, estos valores son muy elevados, ya que se pretende obtener en 60 s el 90% de lodo drenado. Este tiempo puede disminuir aumentando la concentración de sólidos en el lodo y modificando el tamaño de permeabilidad de la malla filtrante. Las características del lodo con As, muestran un comportamiento delicado y difícil de drenar.

Conclusiones

-Se remueve del agua de manera eficiente las diferentes concentraciones de As, manteniendo valores inferiores al límite máximo permisible que establece la modificación del año 2000 de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (0.025 mg/L).

- Se caracterizó el lodo producido bajo condiciones óptimas con propiedades físicas y químicas. El acondicionamiento es importante para la reducción de volumen en humedad. Se determinó que el pH si influye en la deshidratación de lodos con As y que el pH 7, muestra diferencias significativas en el acondicionamiento del lodo, mejorando la etapa de deshidratación.

-El polímero utilizado acondiciono de manera eficiente el lodo, para la etapa de deshidratación.

-El lodo puede deshidratarse fácilmente acondicionando y empleando un método mecánico en la deshidratación, siendo en definitiva notable la disminución de volumen en el tratamiento de lodo.

-En el desaguado del lodo se comprueba la complejidad de lodos con As para drenarlos ya que se observan valores negativos para una eficiencia de drenaje.

Agradecimientos

FIDEICOMISO Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA),
 Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
 Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Referencias bibliográficas

(ATSDR) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). Toxicological profile for arsenic. Draft for Public Comment. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Availableat fecha de acceso 13 de febrero del 2016 DOI

<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=22&tid=3>

(i) Coackley, P., y Allos, R. (1962). The drying characteristics of some sewage sludges. Journal of the Institute of Sewage Purification, 6, 557-563.

(i) Cornwell, D. A.; Bishop, M. M.; Gould, R. G. and Vandermeiden, (1987) C. *Water Treatment Plant Waste Management*. Handbook of Practice. American Water Works Association Research Foundation. pp. 431.

(v) García Mendoza, K. (2017). Optimización de los procesos de acondicionamiento y deshidratación de los residuos generados en la coagulación-floculación de agua que contiene arsénico. Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

(iii) Garrido & K. García. 2016. Evaluation of dewatering performance and physicalchemical characteristics of iron chloride sludge: 490-492, en Proceedings Arsenic in the Environment. Arsenic Research and Global Sustainability As 2016. Ed. CRS Press, Taylor & Francis Group, London, England, ISBN 978-1-138-02941-5. Series Editor ISSN: 2154-6568.

(iii) Garrido Sofía, Avilés Martha, Ramírez Antonio, Grajeda Celia, Cardozo Saúl, and Velásquez Hayron, (2013) a. Comparison two operating configurations in a full-scale arsenic removal plant: Case study: Guatemala. *Water*. 5(2), 834-851.

(iii) Garrido, S., Piña, M., López, I.; De La O, D., Rodríguez, R. (2013) b. Behavior of two filters media for to remove arsenic from drinking water. *Filtration*, 13, 21-26.

(i) Ramalho, R. S. (1993) Tratamiento de Aguas Residuales. De. Reverté, S. A. pp. 705.