

Análisis de generación - características tóxicas y biológico infecciosas de lodos de la potabilizadora Los Álamos.

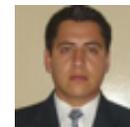
Generation analysis -toxic and biological characteristics of sewage sludge from the water treatment plant Los Álamos



Yadira Cecilia
Paredes Calderón
yadiraparedes13@hotmail.com



Wilson Giovanni
Chisaguano Quishpe
w_giovanny@hotmail.com



Malacatus Cobos Paúl Nicandro
pnmalacatus@uce.edu.ec

Ingeniero en Gestión Ambiental, Magister en Sistemas de Gestión Integrados. Docente de Posgrado en la UTE. Docente de Posgrado ESPE, **Docente UCE**

Resumen

La planta potabilizadora Los Álamos trata agua del Río Coca en el cantón Francisco de Orellana, durante la coagulación-floculación se emplea policloruro de aluminio cuyo proceso genera lodos químicos que son descargados a un cuerpo de agua superficial incumpliendo la normativa legal vigente.

El objetivo del presente estudio fue analizar la generación y características tóxicas y biológico infecciosas del lodo generado, por lo que surge la hipótesis: se puede considerar al lodo generado en la potabilizadora Los Álamos como residuo peligroso. En el presente estudio se tomaron tres muestras integradas de lodo al interior de sedimentadores y floculadores, durante el primer trimestre del 2016 siguiendo la normativa ambiental vigente; además, se cuantificaron los lodos de la sedimentación con pruebas volumétricas de sólidos sedimentables. Los resultados indicaron que durante la sedimentación el lodo generado representó el 0,571% del agua tratada. Las pruebas microbiológicas y de metales pesados realizadas al lodo indicaron que este es un desecho no peligroso; además el aluminio no supera los límites máximos permisibles de la normativa internacional.

Palabras clave: lodos; generación; toxicidad

Abstract

The potable water plant Los Alamos treats water from the Coca River in the canton Francisco de Orellana, during coagulation-flocculation is used polychloride aluminum whose process generates chemical sludge that is discharged to a body of surface water in breach of current legislation.

The objective of the present study was to analyze the generation and toxic and biological infectious characteristics of the sludge generated, so the hypothesis arises: the sludge generated in the potable water treatment plant Los Alamos can be considered as a hazardous waste. In the present study, three integrated sludge samples were taken into sedimenters and flocculators during the first quarter of 2016 in accordance with current environmental regulations; In addition, sedimentation sludges were quantified with volumetric sedimentable solid tests. The results indicated that during sedimentation the generated sludge represented 0.571% of the treated water. The microbiological and heavy metal tests performed on the mud indicated that this is a non-hazardous waste; In addition, aluminum does not exceed the maximum permissible limits of international regulations.

Keywords: sludge; generation; toxicity

Introducción

Al igual que la gran mayoría de sistemas de tratamiento de aguas residuales, las plantas potabilizadoras generan residuos que en su mayoría son lodos, estos provienen de la concentración de sólidos e impurezas del agua a potabilizar la cual se obtiene por lo general de ríos, como es el caso de la Planta Potabilizadora Los Álamos en el Cantón Francisco de Orellana, donde la captación se realiza del Río Coca.

La generación de los lodos se da en los procesos internos de la planta potabilizadora la cual utiliza compuestos químicos que permita obtener agua de calidad para el consumo humano.

De acuerdo al sistema de tratamiento del proceso de potabilización de la planta Los Álamos, como subproductos de coagulación con sales de aluminio y/o neutralizante y polímero en el tratamiento de potabilización se generan lodos químicos, estos lodos son aluminosos, según Chu poseen cerca de 39% de aluminio en peso, presumiblemente en forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Sen-Gupta y Prakash afirman que el hidróxido de aluminio insoluble representa de un 25 a 60 % de los sólidos del lodo (Villegas G, Castaño R, & Paredes Cuervo, 2005). Los parámetros que afectan las características de los lodos químicos dependen de la composición del agua a tratar, pH, mezclado, tiempo de retención y forma de floculación, entre otros (Cardoso Vigueros & Ramírez González, 2002, págs. 7-8). Estos lodos son generalmente gelatinosos por los hidróxidos de aluminio y hierro (Romero Rojas, 1999, pág. 760). Además, son tixotrópicos, esto significa que tienen características gelatinosas en reposo, pero líquidas en movimiento (Garcés, Díaz, & Dellepiane, 2013, pág. 2).

Generalmente este tipo de lodos son descargados a los cuerpos hídricos, lugar donde se obtuvo el agua a ser tratada y en la gran mayoría de casos se descarga sin ningún tratamiento previo y desconociendo cuáles son sus características luego del proceso de potabilización, incumpliendo la normativa ambiental vigente.

En el presente estudio se analizó como variable independiente la generación y como variable dependiente las características tóxicas y biológico infecciosas del lodo generado en la Planta de Potabilización Los Álamos, ya que puede ser un residuo peligroso, los parámetros considerados han sido extraídos de la normativa ecuatoriana, mexicana, y para analizar la generación se ha empleado normativa colombiana y bibliografía referente al tema.

Material y métodos

Para conocer la cantidad de lodos generados por el uso de policloruro de aluminio (PAC) en el proceso de potabilización, se ha realizado una medición volumétrica de sólidos sedimentables con la utilización del cono

Imhoff, ya que se ha considerado como sólidos sedimentables a los lodos acumulados en las unidades de tratamiento, esto debido a que en el interior de los floculadores y sedimentadores se depositan los flocs que precipitan por gravedad, donde los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresa comúnmente en mL/L. (Romero Rojas, 1999, pág. 68).

Las muestras han sido tomadas simultáneamente, una de agua cruda para medir la turbiedad y otra en el canal abierto, al ingreso del agua a las unidades de tratamiento una vez que se ha adicionado los productos químicos, para determinar los sólidos sedimentables. Luego usando el método 2540 F Standard Methods for the Examination of Water Wastewater, que corresponde a sólidos sedimentables de la American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005 se procede a determinar los sólidos sedimentables mediante pruebas volumétricas, procedimiento que se detalla a continuación:

- Llenar un cono Imhoff con un litro de muestra homogeneizada.
- Dejar en reposo 45 minutos.
- Usar un agitador para desprender los sólidos adheridos a las paredes del cono.
- Dejar reposar 15 minutos.
- Tomar la lectura del volumen de sólidos sedimentables en mL/L.

Mientras que para determinar la turbiedad del agua cruda se usó el Turbidímetro HACH 2100N, este procedimiento consistió en tomar la muestra de agua cruda y llenar la cubeta de vidrio hasta la línea de 30mL aproximadamente, la cubeta se limpia con un paño, se agita y posteriormente se coloca en el soporte de cubetas, se cierra la cubierta y se registra el dato de turbiedad.

Para comparar las características tóxicas y biológico infecciosas del lodo, no se cuenta con una normativa específica a nivel nacional ni local, que determine su peligrosidad, en consecuencia, se ha recurrido a los Criterios para Considerar a un Desecho como Peligroso o No Peligroso o Especial de las Tablas 2 y 3 de la Resolución 002 del 2014 de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, la misma que está basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, cuyos parámetros son: arsénico, cadmio, cromo VI, plomo, mercurio, níquel, zinc, coliformes fecales, huevos de helmintos, salmonella sp, además se ha considerado el aluminio por su relación con

el proceso de potabilización a pesar de no formar parte de las Tablas 2 y 3 mencionadas, se ha empleado el dato de la (ASCE, 1996) para su comparación.

Se realizaron 3 muestreos ya que la calidad del agua cruda y los insumos químicos adicionados para el proceso de potabilización son relativamente constantes durante todo el año, para esto se ejecutó varias actividades, entre esto: un protocolo de muestreo de lodos, posteriormente con el uso del programa AUTOCAD 2015 se realizó una vista en planta de la planta convencional Los Álamos, señalando los sitios de muestreo, seleccionados en las visitas técnicas por su facilidad de acceso y recolección, donde se tomaron muestras integradas de lodo en el interior de los sedimentadores y floculadores, antes de que estos formen parte del efluente.

Como parte del estudio se ha considerado el período de trabajo de campo que comprendió el primer trimestre del 2016, debido a que en estos meses tuvieron representatividad los valores de turbiedad del agua cruda con respecto a los demás meses del año, así, enero presentó un comportamiento semejante a abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mientras que febrero fue el mes con mayor variabilidad ya que abarcó valores en todos los rangos de turbiedad similar a junio; en cambio mayo, julio y agosto presentaron valores de turbiedad semejantes a marzo, tal como se observa en el histograma de frecuencias absolutas de las Figura 1, 2, 3. Por esta razón en este trimestre se han realizado los muestreos.

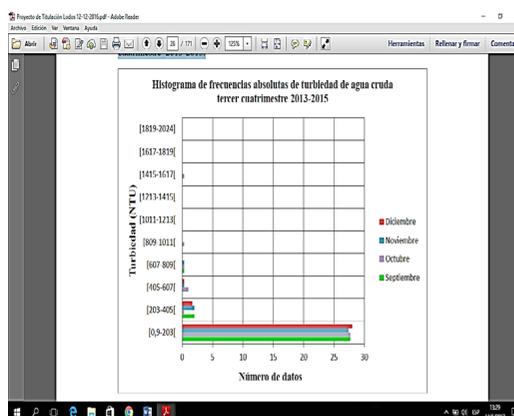


Figura 3. Histograma de frecuencias absolutas de turbiedad del agua cruda tercer cuatrimestre 2013-2015.

En el histograma de frecuencias relativas de la Figura 4, se observa que el 86,38% de datos se encuentran en un rango de turbiedad de 0,9 a 203 NTU, por lo tanto en este intervalo se toma muestras para la cuantificación de los lodos generados en la planta de potabilización.

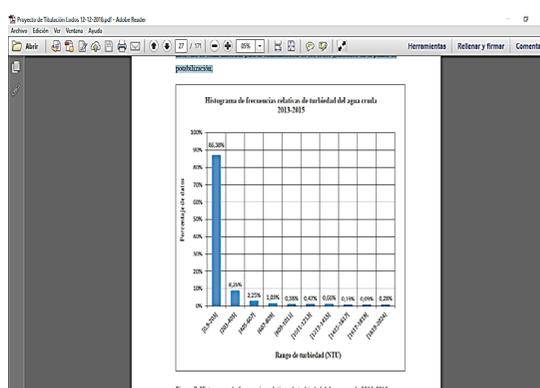


Figura 4. Histograma de frecuencias relativas de turbiedad del agua cruda 2013-2015.

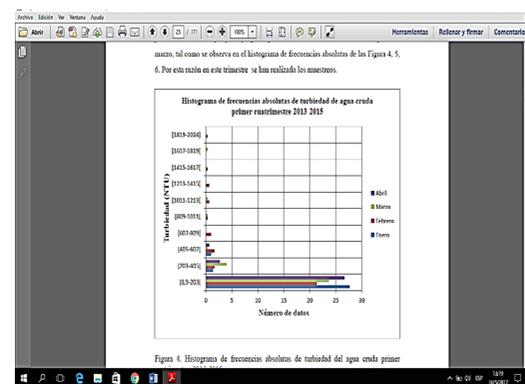


Figura 1. Histograma de frecuencias absolutas de turbiedad del agua cruda primer cuatrimestre 2013-2015.

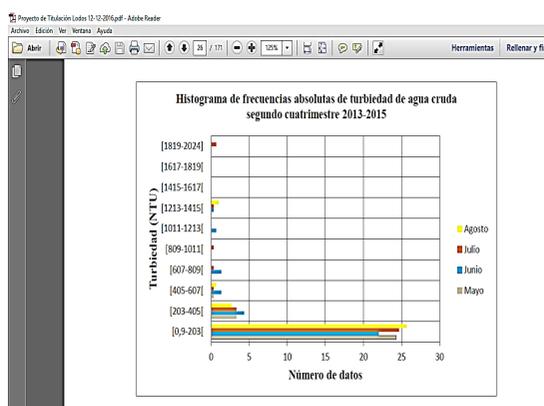
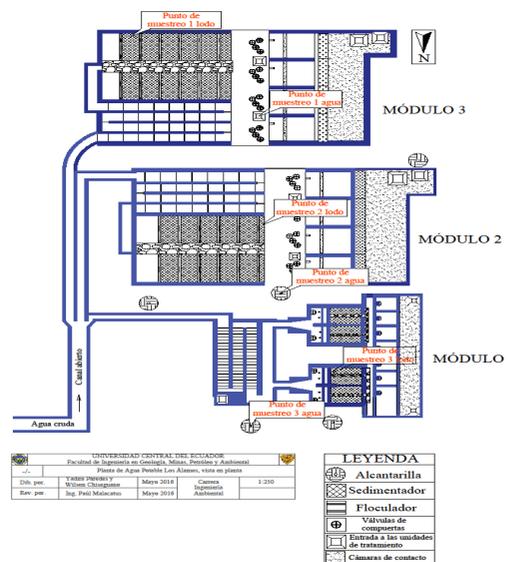


Figura 2. Histograma de frecuencias absolutas de turbiedad del agua cruda segundo cuatrimestre 2013-2015.

Resultados

Muestreo

En la planta potabilizadora Los Álamos se realizaron los muestreos, el 19 y 29 de enero del 2016 y el 13 de marzo del 2016. Los puntos de recolección se indican en la Figura 5:



Cuantificación de lodos en floculadores y sedimentadores.

El análisis de resultados de la cuantificación de lodos se realiza mediante el promedio geométrico debido a que los datos son variables entre sí. El promedio geométrico es un valor calculado que depende de la magnitud de cada valor, lo cual se ve menos afectada por los valores extremos que el promedio aritmético; para cualquier serie de datos su valor es siempre menor que el promedio aritmético; es igual a cero si alguno de ellos es igual a cero y no se puede calcular si existen valores negativos en la serie de datos (Romero Rojas, 1999, págs. 102-103). Este promedio es la raíz n del producto de n datos o valores y el cálculo se hace con la ecuación (1):

$$Xg = \sqrt[n]{X1 * X2 * X3 * \dots * Xn}$$

Promedio geométrico (Romero Rojas, 1999).

Dónde:

Xg = Promedio geométrico

X1,.....,Xn = Datos

n = Número de datos

Los valores obtenidos del trabajo de campo de sólidos sedimentables se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Turbiedad del agua cruda y sólidos sedimentables de las unidades de tratamiento.

Muestras	Turbiedad	Sólidos Sedimentables
	NTU	mL/L
1	9,4	5,5
2	201	10
3	11,5	10,5
4	103,1	6,5
5	157	9
6	22,1	4
7	18,1	4,5
8	12,5	5
9	8,9	2,5
10	122	6,5
11	112	3,5
12	119	3,5
13	90	5,5
14	89	2,5
15	172,6	8,5
16	66,1	7,5
17	72,9	6,5
18	102	7
19	176	8,5
20	24,3	7,5
21	18,4	5,5
22	124,3	9
23	195,0	4
24	44,3	5,5
25	102,0	6,5
26	90,0	5,5
27	143,0	4,5

Muestras	Turbiedad	Sólidos Sedimentables
	NTU	mL/L
28	81,7	2,5
29	87,0	2
30	150,2	7,5
31	189,6	11,5
32	198,0	8,5
33	140,4	9,5
Promedio geométrico		5,71

Considerando que los datos de sólidos sedimentables se presentan en mL/L, se representa en porcentaje.

El valor medio geométrico de la generación de lodos en floculadores y sedimentadores es de 0,571% del agua tratada, cuyo valor se encuentra en el rango que establece la bibliografía.

Por lo tanto, en la planta Los Álamos se trata alrededor de 0,19 m3/s de agua, de lo cual 0,0011 m3/s son lodo, teniendo una generación de lodo diario en los floculadores y sedimentadores de 93,74 m3/día.

Generación diaria de lodos

De acuerdo al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia (2000) el lodo de los floculadores y sedimentadores representa el 70% del lodo generado y el 30% corresponde al aporte de lodo de los filtros.

Por lo tanto, los 93,74 m3/día representan el 70% del lodo generado, siendo el 30% calculado con la fórmula (2).

(Sandoval, Motellano, Martín, Sánchez, Santana, & Morán, 2010)

Donde:

QL= Caudal de lodos proveniente de filtros en m3/día

QE= Caudal de agua cruda en m3/día, (0,19 m3/s = 16416 m3/día)

PL= Porcentaje de agua cruda que representa la generación de lodos químicos del proceso de potabilización, en fracción decimal, (0,571% = 0,00571)

Dando una generación diaria de lodos de:

Masa de sólidos presentes en el lodo

En procesos de potabilización el lodo de un sedimentador tiene una concentración de sólidos de 0,5% (Menéndez Gutiérrez & Pérez Olmo, 2007, pág. 289; Ramírez Quirós, 2008; Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico de la República de Colombia, 2000; Comisión Nacional del Agua de, 2007, pág. 20).

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y



Saneamiento Básico de Colombia (2000) y la Comisión Nacional del Agua (2007) indican que la concentración para lodos que provienen de los filtros es de 0,05%.

Según Romero Rojas (1999) la densidad relativa del lodo de precipitación química es de 1030kg/m³; por lo tanto, con la fórmula (3) de Metcalf & Eddy (1998) y Romero Rojas (1999) se calcula la masa de sólidos de lodos.

Donde:

MFS=Masa de sólidos de lodos de floculadores y sedimentadores en kg/día

MF=Masa de sólidos de lodos de filtros en kg/día

QL= Generación diaria de lodos en m³/día, (para floculadores y sedimentadores 93,74 m³/día y para los filtros 40,17 m³/día)

SS= Porcentaje de concentración de sólidos en fracción decimal, (floculadores y sedimentadores 0,005 y en filtros 0,0005)

ρ_s = Densidad relativa de lodos de precipitación química en kg/m³

La generación diaria de sólidos presentes en los lodos de la Planta de Agua Potable Los Álamos es de 503,45 kg/día.

Características tóxicas y biológico infecciosas de lodos residuales.

Los análisis de lodo realizados por los laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana SAE demuestran que todos los parámetros están bajo los límites máximos permisibles, con lo que se puede determinar que los lodos de la planta de agua potable Los Álamos son desechos no peligrosos, tal como se muestra en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Comparación de los análisis de lodo con criterios para considerar a un desecho como peligroso o no peligroso o especial.

Tabla N° 2. Límites máximos permisibles para extracción de metales pesados en base seca (digestión ácida)					
Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible			
Arsénico	mg/kg	75	1,05	6,58	3,81
Cadmio	mg/kg	85	< 2	< 2	< 1,50
*Cromo VI	mg/kg	3000	< 0,25	< 0,25	4
Plomo	mg/kg	4300	< 9	22,47	11,66
Mercurio	mg/kg	840	0,09	0,24	0,16
Níquel	mg/kg	57	7	16,08	30,57
Zinc	mg/kg	420	24,9	59,92	87,33
*Aluminio	mg/kg	60000	14505	35593,31	36120,69

Fuente: Resolución 002 de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitanos de Quito, 2014, p. 72.

Nota: Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE y el aluminio es un parámetro establecido por la American Society of Civil Engineers (1996)

Tabla 3. Comparación de los análisis de lodo con criterios microbiológicos para considerar a un desecho como peligroso o no peligroso o especial.

Tabla N° 3. Criterios microbiológicos para no catalogar a un desecho biológico como peligroso			Resultado 19/01/2016	Resultado 29/01/2016	Resultado 13/03/2016
Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible			
Coliformes fecales	NMP o UFC/g ST	2x10 ⁶	< 3	4	<3
Huevos de Helmintos	-	15/g	0	0	-
Salmonella sp	P/A	1000/g	0	0	-

Fuente: Fuente: Resolución 002 de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitanos de Quito, 2014, p. 73.

Discusión

Cuantificación de lodos

El valor medio geométrico de la generación de lodos en floculadores y sedimentadores es de 0,571% del agua tratada, esto se debe a los cambios de las características del agua cruda, cuyo valor se encuentra en el rango que establece Sandoval et al. (2010), donde el volumen de lodos generados en el proceso de potabilización representa del 0,3% al 1,0% del agua tratada, los mismos que provienen de la remoción de sólidos sedimentables y suspendidos presentes en el agua cruda y de reactivos adicionados

Generación de lodos

Los valores obtenidos de la generación diaria de lodos se los han realizado de manera diferenciada, debido a que el lodo generado en floculadores y sedimentadores representa el 70%, mientras que el 30% corresponde al aporte de lodos de los filtros, tal como lo indica la bi-bliografía.

Masa de sólidos presentes en el lodo

En el proceso de potabilización la generación de sólidos de lodos en floculadores y sedimentadores representa el 0,5% de concentración de sólidos, mientras que la concentración para lodos que provienen de los filtros es de 0,05%, tal como lo indica la bibliografía, debido a que la mayor cantidad los sólidos presentes en el lodo precipitan en los floculadores y sedimentadores, en tanto que en los filtros la cantidad es menor.

Características tóxicas y biológicas infecciosas de lodos residuales.

Los parámetros analizados y comparados con las tablas 2 y 3 de la Resolución 002 del 2014 de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, determinan que los lodos de la planta de agua potable Los Álamos son desechos no peligrosos, además el aluminio no supera los límites máximos permisibles establecidos por la (ASCE,1996).

El análisis C.R.E.T.I.B, se descartó debido a que en el proceso de potabilización los productos empleados y los lodos químicos generados no forman parte del Acuerdo Ministerial 142. Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, además los parámetros establecidos por la norma señalada contemplan el paquete de metales pesados que forma parte de los criterios para determinar la toxicidad y parámetros microbiológicos que forman parte de los criterios para determinar las características biológico-infecciosas del análisis C.R.E.T.I.B, siendo estas dos características relevantes en el análisis, por la naturaleza de los lodos químicos generados en la potabilización del agua.

Pese a que el lodo de la planta de potabilización Los Álamos es un desecho no peligroso y al analizar el paquete de metales pesados para determinar la toxicidad y parámetros microbiológicos para determinar las características biológico-infecciosas del análisis C.R.E.T.I.B, se tomó en consideración investigaciones sobre la toxicidad del aluminio presente en lodos generados por plantas potabilizadoras, en un estudio realizado por Castañeda Sarabia (1998) se evidenció que tienen efectos adversos en distinta medida sobre organismos (*Dephnia magna*, *Panagrellus redivivus*, *Lactuca sativa*) representantes de la biota y presentan una baja toxicidad, mientras que Kaggawa (2001) en su estudio del “efecto de la descarga de lodo obtenido de coagulantes de aluminio en el lago Victoria de Uganda, observó anomalías en las raíces de algunas plantas y deficiencia de fósforo atribuyendo esto último a la presencia de aluminio que impide la correcta asimilación de fósforo por las raíces de la planta” (Pavón Silva, Pacheco Salazar, & Cárdenas Zuazo, 2002).

También se generan consecuencias en la capa bentónica, según los estudios realizados por Lamb y Bailey descrito por Cornwell, “ya que causa efectos agudos y crónicos en la familia sobre la *T. dissimilis* que es representativo de la familia de los chironomidae. Esta familia de organismos ocupa una parte significativa de la capa bentónica, siendo importante en la alimentación de peces. Se verifica que las tasas de mortalidad de especies por medio de este estudio, incrementan con el aumento de las dosis de lodos. Se cree que puede ocurrir un aumento de la concentración de metales tóxicos en bentos y además puede tener inhibición en el movimiento de pupas” (de Souza, y otros, 1999).

En estudios de Heil & Barbarick (1989); Rengasamy et al (1980); Bugbee & Frink (1985); Kim et al (2002);

Moodley et al (2004); Novak & Watts (2004) citado por Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington (2014) manifiestan que entre las diversas aplicaciones que tienen estos lodos es de mejorador de suelo, ya que intervienen en su estructura, porosidad, permeabilidad, capacidad de retención de agua y niveles de nutrientes, debido a que los lodos de alumbre contienen una cantidad sustancial de macro y micro nutrientes; además existen tres factores que deben ser considerados para darle este uso, tal como explica Babatunde & Zhao (2007) citado por Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington (2014), a) Una tasa de aplicación que no genere impactos ambientales, b) Propósito de la aplicación, c) Características físico químicas de estos lodos. Sin embargo existen investigaciones de Titshall & Hughes (2005); Babatunde & Zhao (2007); Basta (2000); Ippolito et al. (1999) que demuestran que la aplicación de lodos de alumbre en cantidades apropiadas no muestra influencias negativas sobre el medio ambiente y los sistemas biológicos (Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington, 2014).

Estudios realizados por Sparks (2003); Sparling et al. (1997) indican que a valores de pH menores a 5,2 el aluminio puede ser tóxico para las plantas (Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington, 2014), considerando que el pH de los suelos de la Provincia de Orellana son ácidos y tiene valores que llegan hasta 4,61 (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, 2015), no permite aprovechar este lodo en la agricultura, a menos que se mantenga un control estricto del pH y de la disponibilidad de fósforo en el suelo.

Conclusiones

- La planta de agua potable Los Álamos genera aproximadamente 0,0011 m³/s de lodos químicos, lo cual no se puede reducir, ya que se emplea en el proceso de potabilización policloruro de aluminio (PAC) teniendo entre sus ventajas la reducción en la generación de lodos con respecto al sulfato de aluminio, siendo este un producto muy utilizado en este proceso.
- Los resultados de los análisis de laboratorio de lodo de los muestreos realizados, determinan que los lodos generados en la planta de agua potable Los Álamos son desechos no peligrosos, de acuerdo con los criterios de la Resolución 002 del 2014 de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.
- El aprovechamiento que se le puede dar a los lodos es de uso urbano con y sin contacto público directo durante su aplicación y se puede utilizar como material de cobertura y relleno, también puede tener usos forestales para especies excluyentes de aluminio.



- Los lodos generados en la planta Los Álamos tienen un uso como mejorador de suelos a pH mayor a 5,2, para evitar la toxicidad del aluminio en el lugar de aplicación.

Recomendaciones

- Se debe realizar estudios sobre la toxicidad de los lodos generados en la planta de agua potable Los Álamos con respecto a flora y fauna nativa del lugar.
- Es necesario realizar estudios sobre la absorción de: mercurio, plomo, selenio, arsénicos, cromo, cobre en los lodos químicos generados en la planta de agua potable Los Álamos, debido a que existen investigaciones que respaldan este tipo de aprovechamiento en estos metales pesados.
- La literatura muestra el uso de lodos químicos de plantas potabilizadoras como coagulante en aguas residuales y sustrato de humedales, por lo tanto es recomendable realizar estudios orientados a estas aplicaciones.
- Diversas fuentes bibliográficas reportan la absorción de fósforo, fluoruros, perclorato, tintes textiles con lodos químicos de plantas de agua potable, por lo que surge la necesidad de realizar estudios para estos aprovechamientos con los lodos de la planta de agua potable Los Álamos.

Referencias

[1]. American Public Health Association, A. W. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Washington, DC: Centennial Edition.

[2]. American Society of Civil Engineers, A. W. (1996). *Technology Transfer Handbook Management of Water Treatment Plant Residuals*.

[3]. Babatunde, A., & Zhao, Y. (2007). Constructive approaches towards water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 129 - 164.

[4]. Castañeda Sarabia, O. (1998). Determinación de la toxicidad de los lodos generados por una planta potabilizadora, utilizando bioensayos. 751 - 765.

[5]. Comisión Nacional del Agua de. (2007). *Manua de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Coahuacán, México, D.F.

[6]. Dassanayake, K., Jayasinghe, G., Surapaneni, A., & Hetherington, C. (2014). Revisión sobre reutilización de lodos de alumbre con especial referencia a las aplicaciones agrícolas y retos futuros. Elsevier.

[7]. de Souza, A., Barreto, E., de Carvalho, E., Brandao, J., Cordeiro, J. S., Patrizzi, L. J., . . .Piotto, Z. (1999). *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: RiMa.

[8]. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico de la República de Colombia. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá.

[9]. Garcés, F., Díaz, J., & Dellepiane, O. (2013). *Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de agua potable*. EMOS. S.A.

[10]. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia de Orellana 2014-2019*. Puerto Francisco de Orellana.

[11]. Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (1984). *NTE INEN 0971 Agua Potable. Determinación de la turbiedad Método nefelométrico*. Quito.

[12]. Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales*. La Habana: Universitaria.

[13]. Metcalf, & Eddy, I. (1998). *Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales (Vol. Tercera edición)*. Madrid: Labor, S.A.

[14]. Pavón Silva, T. B., Pacheco Salazar, V., & Cárdenas Zuazo, L. M. (2002). *Tratamiento de lodos de una potabilizadora para la recuperación de aluminio y hierro como coagulantes*. México. D.F.

[15]. Ramírez Quirós, F. (2008). *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable*. *Técnica Industrial*, 47-52.

[16]. Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

[17]. Sandoval, L., Motellano, L., Martín, A., Sánchez, L., Santana, M., & Morán, M. (2010). *Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización de agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1-10.

[18]. Villegas G, J. D., Castaño R, J. M., & Paredes Cuervo, D. (2005). *Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua*. *Scientia Et Technica*, 223 - 228.