

**RECUPERACIÓN DE ALUMINIO  
VARIANDO LA EDAD DE LOS  
LADOS DE POTABILIZACIÓN Y SU  
REUTILIZACIÓN EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS EN  
CASANARE**

RECOVERY OF ALUMINUM  
VARYING THE AGE OF THE  
POTABILIZATION SLUDGE AND  
ITS REUSE IN THE WATER  
TREATMENT IN CASANARE

RECUPERAÇÃO DE  
ALUMÍNIO VARIANDO A  
IDADE DO LODO DE  
POTABILIZAÇÃO E SUA  
REUTILIZAÇÃO EM  
TRATAMENTO DE ÁGUA  
EM CASANARE

**Yury Marlén Peralta Ladino**

Escuela Ciencias Básicas,  
Ingeniería y Tecnología, Programa  
de Química, Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia,  
yury.peralta@unad.edu.co

**María del Rosario Díaz Olaya**

Escuela de Ciencias Agrícolas,  
Pecuarias y del Medio Ambiente,  
Programa de Zootecnia,  
Universidad Nacional Abierta y a  
Distancia,  
maria.diaz@unad.edu.co

**Fecha de Recepción:** 15 de septiembre de 2019

**Fecha aprobación:** 11 de marzo de 2020

## Resumen

esta investigación estudió el potencial de regeneración del aluminio por extracción del metal en solución ácido de dos tipos de lodos de potabilización (lodo seco y lodo fresco) provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Aguazul Casanare. Además, en esta investigación se realizó un ensayo de jarras con las soluciones de aluminio recuperado de mayor concentración, para establecer el pH óptimo y analizar la conversión de los parámetros turbiedad y color a los valores exigidos en la normatividad colombiana para agua potable. Se obtuvo como resultado una recuperación de aluminio a pH de 1,9 en los lodos secos y frescos de 18,35 y 58,75%, respectivamente. Además, las concentraciones de aluminio en los lodos seco y fresco fueron de 3.900 y 2.600 mg/L.

El ensayo de jarras para el agua de la PTAP de Aguazul con la mayor remoción de color y turbiedad se obtuvo empleando el lodo seco recuperado a pH 1,9 en una dosis óptima de 25 mg/L de aluminio, siendo las remociones de color y turbiedad fueron de 10 y 15 % respectivamente.

**Palabras clave—** aluminio recuperado, lodo de potabilización, manejo ambiental, recuperación acida, ensayo de jarras.

## Abstract

This research studied the potential for regeneration of aluminum, by removing metal in an acid solution of two types of water sludge (dry

sludge and fresh sludge) from the Drinking Water Treatment Plant of the Municipality of Aguazul Casanare. In addition, this study carried out a jar test with the recovered aluminum solutions of higher concentration, in order to establish the optimal pH and analyze the turbidity and color conversion parameters to the values required in Colombian regulations for drinking water. An aluminum recovery at pH of 1.9 in dry and fresh sludge of 18,35 and 58,75%, respectively as a result. Besides, aluminum concentrations in dry and fresh sludge were 3.900 y 2.600 mg/L. The jar test of water of PTAT of Aguazul with the greatest removal of color and turbidity was obtained using the dry sludge recovered at pH 1.9 at an optimal dose of 25 mg/L of aluminum, with the color and turbidity removals being 77.4 and 84.1%, respectively.

**Keywords—** recovered aluminum, water treatment sludge, environmental management, acid recovery, jar test.

## Resumo

Esta investigação estudou o potencial de regeneração do alumínio por extração do metal em solução ácida de dois tipos de lama potável (lodo seco e lodo fresco) da Estação de Tratamento de Água Potável do município de Aguazul Casanare. Além disso, nesta investigação, foi realizado um teste de jarro com as soluções de alumínio recuperado de maior concentração, para estabelecer o pH ideal e analisar a conversão dos parâmetros de turbidez e cor nos valores exigidos nas normas colombianas para a água potável. Como resultado, foi obtida uma recuperação de

alumínio de pH 1,9 em lodo fresco e seco de 18,35 e 58,75%, respectivamente. Além disso, as concentrações de alumínio em lodo seco e fresco foram de 3.900 e 2.600 mg / L. O teste de jarro de água Aguazul PTAP com a mais alta remoção de cor e turbidez foi obtido usando a lama seca recuperada a pH 1,9 em uma dose ideal de 25 mg / L de alumínio, com as remoções de cores e turbidez foram 10 e 15%, respectivamente.

**Palavras-chave** - alumínio recuperado, lodo de purificação, gerenciamento ambiental, recuperação de ácido, teste de jarro.

## Introducción

El tratamiento de agua superficial para consumo y actividades domésticas generalmente incluye los procesos unitarios de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y almacenamiento, esto permite gestionar el producto requerido agua potable. Los coagulantes que pueden emplearse en la remoción de turbiedad y color del agua son, metálicos como los sulfatos de hierro y de aluminio, así como los polímeros inorgánicos como el policloruro de aluminio [1].

Del proceso de tratamiento se obtiene como subproductos, los lodos de potabilización - LP que presentan en su estructura coloidal hidróxidos metálicos de aluminio, los cuales pueden constituir más del 80% en masa y volumen de los sólidos producidos para su disposición final [1, 2]. Investigadores como Chu (1990) afirma que los lodos poseen cerca del 39% de aluminio en peso en forma de  $Al(OH)_3$  [3], por otro lado, SenGupta y Prakask (2004)

afirman que el hidróxido de aluminio insoluble represente en los lodos entre el 25 -60% del peso total [4].

Se ha evidenciado toxicidad en la vida acuática a causa de los LP dispuestos en cuerpos de agua, con altas concentraciones de aluminio que superan el 39%, así mismo se ha encontrado que el aluminio contribuye en la enfermedad de Alzheimer [5, 6]. Esto, evidencia el impacto negativo que implica el manejo inadecuado de los lodos generados por el tratamiento de aguas.

En Colombia, el manejo de los lodos de potabilización por parte de las empresas de servicio públicas está reglamentado en el decreto 1575 de 2007 [7], en el mejor de los casos algunas empresas disponen el lodo producido en rellenos sanitarios, pero otras disponen directamente en los cuerpos de agua al momento de realizar limpieza y mantenimiento de las unidades de tratamiento [8].

La regeneración del aluminio con ácido sulfúrico como proceso de tratamiento de los lodos ha mostrado ser una alternativa promisoría para el manejo ambiental y reducción del impacto negativo de estos subproductos, ya que reducen la concentración de aluminio en el contenido de los lodos a valores superiores al 70% y se obtiene aluminio recuperado que puede ser reutilizado en el tratamiento de aguas residuales [9, 10, 11].

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo estudiar el porcentaje de regeneración de aluminio de lodos frescos (< 2 noches de ingreso al lecho de secado) y secos (lodo envejecido más de 1 año de contenido en los

lechos de secado), mediante la extracción con ácido sulfúrico diluido y evidenciar el uso de los dos tipos de aluminio regenerados como coagulantes en el tratamiento de aguas potable. La relevancia del estudio radica en la importancia de plantear una solución ambiental al manejo de lodos, al uso eficiente de insumos químicos y la gestión del recurso hídrico en Casanare.

## Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en el laboratorio de la empresa DAY Servicios Agrícolas y Ambientales de Colombia SAS ubicado en el municipio de Aguazul (Casanare- Colombia).

### A. Reactivos

El ácido sulfúrico (Panreac 95-98%), la cal hidratada tipo N, el agua destilada obtenida mediante destilación simple, los reactivos para determinar aluminio – Ref 931206 Macherey Nagel, las soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0 obtenidas de Apera Instruments.

### B. Preparación de soluciones de lodos de potabilización

Se utilizó lodo proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Aguazul Casanare, la cual abastece aproximadamente 29.153 habitantes, con un caudal de 100 L/s y una dosis de hidroxiclورو de aluminio de 30mg/L.

### 1. Solución a partir de lodo seco

Se pesaron 1.5kg de lodo seco (lodo envejecido más de 1 año de contenido en los lechos de secado) y trituraron hasta la reducción del tamaño de grano. Se adiciona 1,5 kg de agua destilada y agita la mezcla hasta completa homogenización para obtener una solución al 50%p/p, el lodo se denotará como LS.

### 2. Solución a partir de lodo fresco

Se pesaron 1.5 kg de lodo fresco (< 2 noches de ingreso al lecho de secado) para ser aprovechados, se adiciona 1.5kg de agua destilada y agita la mezcla hasta completa homogenización para obtener una solución al 50%p/v, el lodo se denotará como LF.

### C. Extracción de Aluminio de las soluciones de lodos de potabilización

Se preparó una solución extractora de ácido sulfúrico al 25%p/v, la cual es dosificada desde pH 3.5 a 2.0 sobre 2 litros de soluciones de LS y LF, respectivamente, (el pH es medido con el equipo PC60 Apera). Agitación para homogenización durante 1 hora a 300 rpm usando el equipo Phipps & Bird. Reposo de 24 h y posterior recolección de la fase acuosa para filtración con filtro millipore 0.45µm [9, 10].

Para la determinación de la concentración de aluminio en el extracto obtenido del lodo LS y LF, se preparó diluciones de 1:1000 en agua destilada. Se cuantificó la concentración de aluminio recuperado mediante el método fotométrico [12].

#### D. Ensayo de Jarras

Se realizó un muestreo simple, en el tanque de aforo de la planta para obtener 20 litros de agua cruda, se analiza el pH, color y turbiedad inicial como parámetros de control del ensayo (APHA/AWWA/WEF 2012). Se llenan las 8 jarras con 2 litros de agua cruda cada una.

Los ensayos de jarras se realizaron empleando como solución stock de coagulante, los extractos 1-LS (3.900 mg/L) y 1-LF (2.600 mg/L) y dosis de solución de 25,30,35 y 45 mg/L con cada coagulante, el ajuste de pH se realiza con solución de alcalinizante de Cal hidratada tipo N 6.000 ppm. Las condiciones de reacción fueron 300 rpm x 1min la mezcla rápida, homogenización a 100 rpm x 15 min y 30 min de sedimentación.

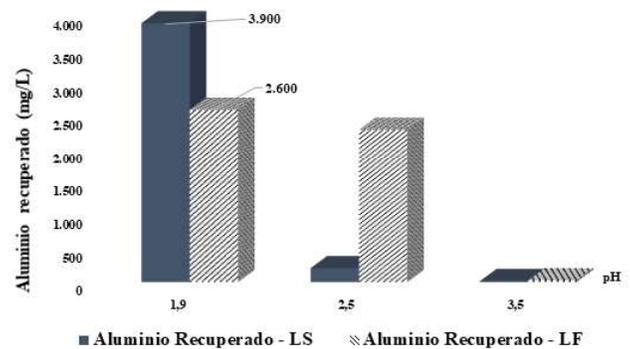
Se analiza en las jarras color, pH y turbiedad, parámetros de control final (APHA/AWWA/WEF 2012), para determinar la dosis optima de coagulante que permite reducir la concentración de color y turbiedad a límites cercanos establecidos en la normatividad colombiana para agua potable (resolución 2115 de 2007).

### Resultados y discusión

#### E. Extracción de aluminio de las soluciones de lodos de potabilización

En la Fig. 1, se muestran los resultados de los ensayos empleando las soluciones de LS y LF y ajustando el pH desde 1,9 a 3,5 unidades mediante la variación del volumen de la solución de ácido sulfúrico al 25%.

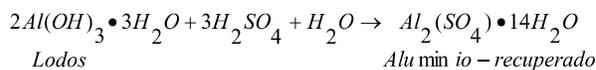
Fig. 1. Extracción de aluminio de dos tipos de lodos de potabilización



Fuente. El Autor

Se evidencia en la Fig. 1, una mayor recuperación de aluminio en términos de concentración expresada en mg/L a pH de 1,9 empleando los dos tipos de lodos. Sin embargo, para el lodo seco, con más de un año de estar almacenado en los lechos de secado se obtiene la mayor recuperación de aluminio, de 3.900 mg/L.

El lodo seco re-disuelto en agua destilada presentó mayor concentración de aluminio, ya que este lodo a lo largo del tiempo de almacenamiento forma varias capas octaédricas de polímeros neutros de aluminio III, lo contrario a un lodo que ha sido incorporado al lecho de secado durante un solo ciclo de coagulación-sedimentación-filtración. Así mismo, se evidencia que a valores de pH bajos la obtención de aluminio incrementa, esto debido a que el  $Al(OH)_3$  insoluble en agua en medio ácido diluido forma sulfato de aluminio como se muestra en la Ec. 1, el cual es soluble en agua [2].



(1)

Se determina a partir del volumen de fase acuosa extraída, los volúmenes y porcentajes de recuperación de aluminio y el remanente de lodos de potabilización, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Porcentajes de recuperación de aluminio y remanentes de lodos a pH 1.9 – 3.5**

	1-LS	2-LS	3-LS	1-LF	2-LF	3-LF
Volumen extracto (ml)	367	490	400	1.175	1.075	650
Fase de Aluminio (%)	18,35	24,5	20	58,75	53,75	32,5
Remanente lodos (%)	81,65	75,5	80	41,25	46,25	67,50

Fuente. El Autor

En la tabla 1 se evidencia un mayor volumen de extracto de aluminio recuperado en solución para LF en relación con LS. Un porcentaje de lodo remanente entre 75,5-81,65% y 41,25 – 67,50% para LS y LF, respectivamente. Sin embargo, a pesar de presentar mayores volúmenes los lodos frescos, la concentración de aluminio es mayor en los lodos secos, es decir que el alto porcentaje remanente en estos últimos está relacionado con la gran cantidad de capas de arcilla (turbiedad) que se depositaron a lo largo del tiempo, lo cual no ocurre con los lodos frescos, donde se presenta menor remanente, pero en dilución (menor concentración de aluminio).

Se establece pH de 1,9 para la extracción de aluminio (1-LS), obteniéndose mayor redisolución de aluminio, en menores volúmenes de agua.

## F. Ensayo de Jarras

La muestra de agua cruda suministrada por la Empresa de Servicios públicos de Aguazul, presentó los parámetros iniciales mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Parámetros iniciales del agua cruda**

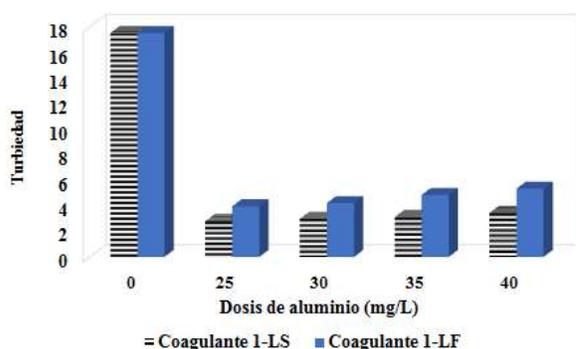
Parámetro	Turbiedad (U.N.T)	Color (U.P.C)	pH (unid. pH)
Valor	17,5	149	7,5

Fuente. El autor

Los ensayos se realizan empleando como coagulante los extractos obtenidos denominados, 1-LS y 1-LF ya que estos presentan la mayor concentración de aluminio.

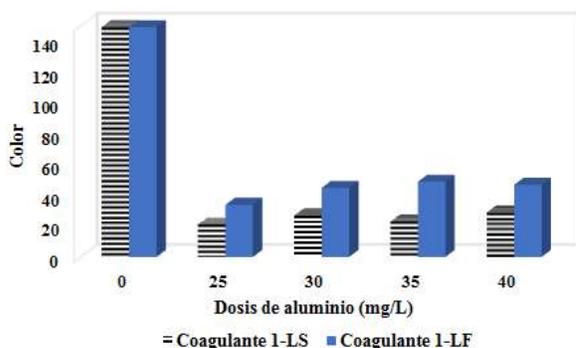
En la Fig. 2, se muestra la turbiedad inicial del agua y el cambio con las diferentes dosis de aluminio recuperado empleadas. Como puede verse, la reducción máxima de turbiedad en la muestra de agua se presenta con una dosis de coagulante de LS y LF de 25 mg/L, en ambos casos se llega a valores inferiores a 4 UNT. Para el caso de la remoción de color se presenta un comportamiento similar, como puede verse en la Fig. 3, llegando a valores de 24 UPC.

**Fig. 2. Remoción de turbiedad vs dosis de coagulante LS y LF**



Fuente. El Autor

**Fig. 3. Remoción de color vs dosis de coagulante LS y LF**



Fuente. El Autor

Teniendo en cuenta la normatividad colombiana donde los límites permisibles son 2 UNT y 15 UPC [13], para turbiedad y color respectivamente, se obtuvieron remociones importantes que muestran la potencialidad del aluminio recuperado como coagulante en el tratamiento de agua potable. En la tabla 3, se evidencia reducción de la turbiedad y color superior al 75% con una dosis de aluminio recuperado de 25 mg/L empleando LS y LF, sin

embargo, se presenta mayores conversiones empleando el LS.

**Tabla 3. Conversiones de color y turbiedad empleando aluminio recuperado 1-LS y 1-LF**

dosis Al mg/L	1-LS		1-LF	
	% Conversión turbiedad	% Conversión color	% Conversión turbiedad	% Conversión color
0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	84,1	77,4	85,9	77,2
30	83,0	75,9	81,9	69,8
35	82,3	72,3	84,6	67,1
40	80,4	69,5	80,5	68,5

Fuente. El Autor

### Conclusiones

En condiciones de valores de pH de 1,9 se recupera una cantidad importante de aluminio que aplicado como coagulante en una muestra de agua cruda muestra remociones superiores al 75% en términos de color y turbiedad. Siendo importante, ya que esta investigación puede ser una solución ambiental al manejo de lodos y al uso eficiente de insumos químicos y reducción de costos e inversión en las plantas de tratamiento en Casanare.

Los lodos secos con tiempos de permanencia largos en los lechos de secado, contienen mayor concentración de aluminio que los frescos y por ende los volúmenes recuperados son inferiores al 24,5 %.

### Agradecimientos

La investigación se realizó gracias al apoyo de la empresa Day Servicios Agrícolas y Ambientales de Colombia SAS ya que facilitó sus instalaciones y equipos para el buen desarrollo de esta. Así como a la Empresa de Servicios Públicos de

Aguazul-Casanare que suministro las muestras de lodos de potabilización y de agua para el análisis respectivo.

## Referencias

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (2001). Teoría y práctica de la purificación del agua, (3th ed.). Santa Fe de Bogotá, DC: Jorge A. Valencia.
- [2] Petruzzelli, D. Volpe, A. Limoni, N. y Passino R. (2000). Coagulants removal and recovery from water clarifier sludge. *Water Research*, vol. 34, no. 7, pp. 2177-2182.
- [3] Chu, W. (1999) Lead Metal Removal by Recycled Alum Sludge. *Water Research*. Vol. 33, No 13, pp. 3019-3025.
- [4] Sengupta, A. Prakhar, P. (2004). Alum Recovery from Water Treatment Works sludges. *Water 21. Magazine of the International Water Association*. IWA pp 15-16.
- [5] Smita J., Kriti S. (2011). Recovery of Alum Coagulant from Water Treatment Plant Sludge: A Greener Approach for Water Purification. *International Journal of Advanced Computer Research*, Vol. 1, No 2, pp. 101-103.
- [6] Evuti, A.M; and Lawal, M. (2011). Recovery of coagulants from water works sludge: A review. *Advances in Applied Science Research*, 2 (6):410-417.
- [7] Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575. Recuperado el 1 de mayo de 2019, de <http://www.minambiente.gov.co>.
- [8] Villegas, J. D., Castaño, J. M., & Cuervo, D. P. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en Plantas de potabilización de agua. *Scientia et Technica*, 2(28).
- [9] Cornwell, D. A., Zoltek, J. (1977). Recycling of alum used for phosphorus removal in domestic wastewater treatment, *Journal WPCF*, Vol. 49, No. 5, 600-612.
- [10] Sengupta, A.; Li, P., Cumbal, L., Gokhale, S. (1997). Selective alum recovery from water treatment residuals, *AWWA research foundation and AWWA*, Estados Unidos de América.
- [11] Carpio A., C. R. Martínez O., A. V., Ruíz B., R. O. (2016). Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la planta potabilizadora de agua Las Pavas. Tesis de pregrado, Programa Ingeniería Química. Universidad de El Salvador, el Salvador.
- [12] APHA; AWWA; WEF (2012). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 22ª edición, Estados Unidos de América.
- [13] Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 2115. Recuperado el 1 de mayo de 2019, de <http://www.minambiente.gov.co>