



## VALORIZACIÓN DE LODOS DE ALUMINIO GENERADOS EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

**Arnold, Manuel**

*Cátedra de Tratamiento de Efluentes  
Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (FBCB-UNL)*

**Directora:** Zerbato, Mariel

**Área:** Ciencias Naturales

Palabras claves: humedales, fósforo, aguas residuales.

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo basado en la sobreexplotación de recursos naturales con el objetivo de crecimiento económico ilimitado es discutido, siendo necesario un cambio de paradigma (Rivera-Hernández et al., 2017). La economía circular, como alternativa al sistema de explotación lineal, puede mejorar la realidad ecosistémica a partir de lograr beneficios no sólo económicos sino sociales y ambientales. (Fundación Ellen Macarthur, 2014). Las descargas excesivas de fósforo (P) provenientes de la actividad humana, rompen el equilibrio natural y promueven la eutrofización en los ecosistemas acuáticos. Entre las principales fuentes de P en las aguas superficiales están la escorrentía agrícola y los vertidos urbanos. Las aguas residuales necesitan tratamiento apropiado para remover el P y otros contaminantes a niveles que sean aceptables para los sistemas naturales. Los lodos de aluminio, son los residuos del proceso de potabilización de agua más generados y disponibles localmente en todo el mundo. Se consideran un material sin potencial de reutilización y se disponen, principalmente, en vertederos o son incinerados luego de secados, lo que aumenta los costos globales del tratamiento del agua (Babatunde et al., 2009; Dassanayake et al., 2015; Muisa et al., 2020). Debido a su alto contenido de aluminio, varios autores han estudiado el uso de estos lodos como lecho de bajo costo para eliminar el fósforo de las aguas residuales utilizando humedales de flujo subsuperficial (Babatunde et al., 2009; Naranjo Ríos, 2017; Yang et al., 2018). Sin embargo, dado que la calidad del lodo varía mucho de una planta potabilizadora a otra, la eficiencia de remoción de distintos contaminantes también podría ser diferente (Muisa et al., 2020). Además de las características propias del lodo, la remoción de fósforo por adsorción depende de otros factores como el pH, la temperatura, la concentración inicial de fósforo y la carga hidráulica, entre otros (Naranjo Ríos, 2017; Muisa et al., 2020).

Título del proyecto: Sistemas de tratamiento bioelectroquímico para remediación de agua residual urbana y producción de energía renovable.

Instrumento: CAI+D

Año convocatoria: 2020

Organismo financiador: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

Director/a: MODINI, LAURA



## OBJETIVOS

**1-** Caracterizar un lodo de aluminio proveniente del proceso convencional de potabilización de agua. **2-** Evaluar su potencial como soporte en humedales construidos para mejorar la eliminación de fósforo de aguas residuales urbanas.

## METODOLOGÍA

**Obtención de agua residual urbana:** Suministrada por la Planta de Líquidos Cloacales de Santo Tomé (Santa Fe, Argentina). Se dejó sedimentar 2 horas antes de usar.

**Obtención de lodos de aluminio:** Se usaron lodos generados en la Planta potabilizadora Desvío Arijón (Santa Fe, Argentina), que emplea como coagulante Sulfato de Aluminio. Los mismos fueron recolectados de los lechos de secado de las instalaciones de la planta y transportados por la empresa Aguas Santafesinas SA.

**Acondicionamiento de los lodos:** Se completó la deshidratación de los lodos por exposición al sol y posterior secado en estufa a 35°C. Luego se trituró mecánicamente el material y se tamizó, consiguiéndose 3 rangos de tamaño o granulometría.

**Caracterización fisicoquímica de los lodos:** Se determinó pH y conductividad (Smith & Doran, 1996). Para cada rango de tamaño de partículas se obtuvo su densidad aparente, porosidad, contenido de agua, sólidos volátiles y conductividad hidráulica. Estas pruebas se llevarán a cabo de acuerdo con Carter & Gregorich (2007) y Flores Delgado & Alcalá Martínez (2010). La determinación del contenido de aluminio, fósforo, hierro, calcio y magnesio fue realizada por el laboratorio PRINARC.

**Cinética de adsorción de P:** Para determinar el tiempo en el cual se alcanzó el estado de equilibrio (velocidad de adsorción = velocidad de desorción), se preparó una solución de 20 g/l del lodo, de cada granulometría, y se determinó la concentración de P según el Método del Ácido Ascórbico 4500-P E (APHA, 2012) a distintos tiempos hasta concentración constante.

**Isotermas de adsorción de P:** Las curvas para cada tamaño de partícula de lodo se realizaron mediante ensayos en lote, con agitación y temperatura controlada. Para ello, se añadió agua residual en erlenmeyers que contenían cantidades crecientes de lodo. La concentración de P en la solución, en el estado de equilibrio, se determinó por el Método del Ácido Ascórbico. La concentración de fósforo en el lodo, en el equilibrio, se calculó por balance de masa. Los datos obtenidos se analizaron utilizando los modelos de Langmuir y Freundlich para determinar parámetros de adsorción correspondientes.

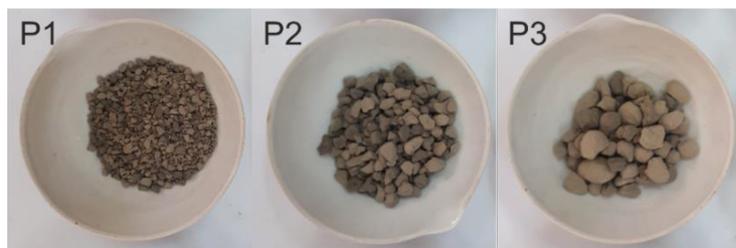
## RESULTADOS

### Composición química de los lodos

Según Informe Técnico del PRINARC, se obtuvo la siguiente composición en %p/p: 7,8 Aluminio; 2,5 Hierro; 0,25 Magnesio; 0,16 Calcio; y 0,16 Fósforo.

### Acondicionamiento y caracterización fisicoquímica

Luego del proceso de acondicionamiento y tamizado se obtuvieron 3 fracciones: Particulado 1 (1 a 3 mm), Particulado 2 (3 a 5 mm) y Particulado 3 (5 a 12 mm) (Fig. 1)



**Figura 1:** Imagen de las 3 granulometrías del lodo obtenidas: P1 (1 a 3 mm), P2 (3 a 5 mm) y P3 (5 a 12 mm)

**Tabla 1:** valores promedios de los parámetros fisicoquímicos de las 3 granulometrías del lodo.

Parámetro \ Tamaño de partícula	Particulado 1 (1 a 3 mm)	Particulado 2 (3 a 5 mm)	Particulado 3 (5 a 12 mm)
pH	6,25	6,05	6,08
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2498	1524	837
Densidad Aparente ( $\text{g}/\text{mL}$ )	0,58	0,57	0,59
Porosidad	0,75	0,75	0,75
Densidad real ( $\text{g}/\text{mL}$ )	2,35	2,25	2,41
Humedad (% p/p)	15,04	17,79	18,53
Sólidos Volátiles (% p/p)	18,96	21,06	20,80
Sólidos Fijos (% p/p)	81,04	78,94	79,20
Conductividad Hidráulica ( $\text{cm}/\text{s}$ )	0,66	3,15	4,21

## Cinética e isotermas de adsorción

A partir de los ensayos de cinética de adsorción de P se estableció que a las 96 h se alcanzó el estado de equilibrio. Las isotermas de adsorción para el menor tamaño de partícula ensayado se muestran en la Figura 2. La isoterma de adsorción muestra la relación entre la cantidad de soluto adsorbido y la masa de sólido adsorbente en el equilibrio a temperatura constante. Se usaron 2 modelos ideales:

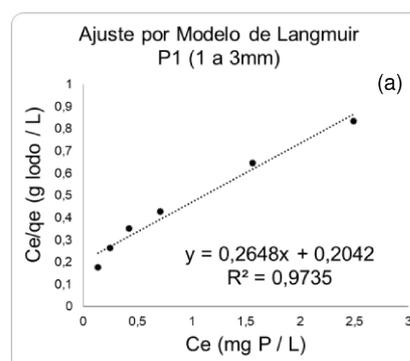
- *Modelo de Langmuir:*

$$q_e = (q_{\text{máx}} * b * C_e) / (1 + b * C_e) \quad \text{(Ecuación 1)}$$

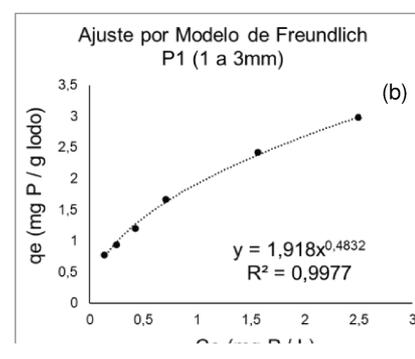
donde:  $q_e$  es cantidad de soluto adsorbido,  $q_{\text{máx}}$  es capacidad máxima de adsorción,  $C_e$  es concentración de soluto en solución y  $b$  es la constante de Langmuir (relacionada con la energía de afinidad entre el soluto y el adsorbente)

- *Modelo de Freundlich:*  $q_e = K_F * C_e^{(1/n)}$  (Ecuación 2)

donde:  $q_e$  es cantidad de soluto adsorbido,  $K_F$  es la constante de Freundlich (relaciona la afinidad entre el soluto y el adsorbente),  $C_e$  es concentración de soluto en solución y  $n$  es una constante empírica que mide la desviación de linealidad de adsorción.



se



**Figura 2:** Isoterma con ajuste lineal del Modelo de Langmuir (a) y por Modelo de Freundlich (b)

A partir del modelo de Langmuir, se obtuvo  $q_{\max} = 3,774$  mg P/g de lodo. Con la constante de Langmuir ( $b = 1,2990$ ) se calculó:

$$R_L = 1/(1+b \cdot C_0) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

donde  $C_0$  es la concentración inicial y  $R_L$  es un factor adimensional ( $R_L = 0$  irreversible;  $0 < R_L < 1$  favorable;  $R_L = 1$  lineal;  $R_L > 1$  desfavorable). Con  $R_L = 0,1597$  la adsorción para nuestro soporte fue favorable.

A partir del modelo de Freundlich se calcularon las constantes:  $K_F=1,918$  y  $n=2,07$ . Cuando  $n > 1$ , la concentración del soluto adsorbido aumenta de forma rápida a bajas concentraciones del soluto en el agua residual, lo que implica que el proceso de adsorción fue favorable (Fig. 2b).

## CONCLUSIONES

Debido a su elevada conductividad hidráulica, los 3 particulados ensayados son aptos para utilizarse en humedales artificiales sin riesgo de colmatación. Las características fisicoquímicas y de adsorción convierten al lodo de aluminio, en la granulometría de 1 a 3 mm, en un sustrato de bajo costo con alto potencial para la remoción de fósforo en aguas residuales urbanas utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- APHA (2012).** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22 ed. American Public Health Association.
- Babatunde, A. O., Zhao, Y. Q., Burke, A. M., Morris, M. A., & Hanrahan, J. P. (2009).** Characterization of aluminium-based water treatment residual for potential phosphorus removal in engineered wetlands. *Environmental Pollution*, 157(10), 2830-2836.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2007).** Soil sampling and methods of analysis. CRC press.
- Dassanayake, K. B., Jayasinghe, G. Y., Surapaneni, A., & Hetherington, C. (2015).** A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*, 38, 321-335.
- Flores Delgado, L., & Alcalá Martínez, J. R. (2010).** Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos, México: Universidad nacional autónoma de México.
- Fundación Ellen Macarthur (2014).** Hacia una economía circular. Resumen ejecutivo.
- Muisa, N., Nhapi, I., Ruziwa, W., & Manyuchi, M. M. (2020).** Utilization of alum sludge as adsorbent for phosphorus removal in municipal wastewater: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 35, 101187.
- Naranjo Ríos, N. Y. (2017).** Estudio para mejorar la eliminación de fósforo en humedales artificiales empleando fangos generados en la potabilización del agua, mediante procesos de adsorción. Aplicación a la potabilizadora La Presa (Manises, Valencia).
- Rivera-Hernández, J. E., Blanco-Orozco, N. V., Alcántara-Salinas, G., Houbron, E. P., & Pérez-Sato, J. A. (2017).** ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Posgrado y Sociedad Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 15(1), 57-67.
- Smith, J. L., & Doran, J. W. (1997).** Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *Methods for assessing soil quality*, 49, 169-185.
- Yang, Y., Zhao, Y., Liu, R., & Morgan, D. (2018).** Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. *Bioresource*.