

## Recuperación de fósforo de las aguas residuales

Claudia Santiviago, Elena Castelló\*

\*elenacas@fing.edu.uy, Biotecnología de los procesos para el ambiente (BioProA) Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UdelaR.

Palabras clave: estruvita, economía circular, efluentes cloacales

Área temática: Gestión ambiental y sostenibilidad

### I. Introducción

El P es un insumo no renovable fundamental por su uso como fertilizante en la producción de alimentos y un contaminante que debe ser eliminado de las aguas residuales. De los nutrientes usados como fertilizantes es el más crítico ya que solo puede extraerse por la vía de explotación de fosfatos y el problema se presenta por la desigual distribución geográfica de los yacimientos, ya que el 75 % de ellos se concentra en China, Marruecos, USA y Rusia [1]. La Unión Europea ha incluido al P desde hace años en la lista de materiales críticos con importancia económica y cuya disponibilidad está en riesgo [2]. Es por ello por lo que ha aumentado el interés en los estudios de recuperación de P a partir de las aguas residuales [3]. Debido a como son gestionados los efluentes industriales en Europa (a través de plantas centralizadas) los estudios que se están llevando a cabo son con efluentes cloacales. En Uruguay los efluentes industriales son tratados y descargados a curso de agua directamente, por lo que, para apostar a la recuperación del P, es fundamental la generación de información y conocimiento local para generación de tecnología apropiada a nuestra realidad y también para la validación de tecnología importada.

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas en Uruguay cuentan con un sistema del tipo de lodos activados para remoción biológica de materia orgánica y nitrógeno. El P en general es precipitado químicamente y ese sólido generado, es llevado a sitios de disposición final o a plantas de tratamiento de residuos. Estos sistemas de remoción de nutrientes presentan eficiencias de remoción que permiten cumplir con los requerimientos de vertido, pero no presentan posibilidad de recuperar nutrientes e implican la generación de un nuevo residuo que debe disponerse de forma segura, esto sumado al costo de productos químicos a agregar en la línea principal de tratamiento. Una solución alternativa para eliminar y recuperar el fósforo ortofosfato (P-OP) de las aguas residuales simultáneamente con el amonio es mediante la cristalización como estruvita [4]. En este esquema de recuperación, se utiliza una fuente de magnesio en medio alcalino, para recuperar el P y el N como estruvita ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ), a partir de la corriente líquida que se obtiene tras la separación de los lodos aerobios digeridos. La generación de 1 kg de estruvita al día es suficiente para fertilizar 2.6 hectáreas de tierra cultivable aplicando P a razón de 40 kg/ha/año [5,6].

### II. Objetivo

En este trabajo se realiza una evaluación preliminar del potencial de recuperación de P a partir de un efluente cloacal típico, utilizando una configuración representativa de planta de tratamiento que, cumpliendo los requerimientos de vertido a curso de agua, permita también la recuperación de nutrientes como estruvita.

### III. Metodología

Para evaluar el potencial de recuperación de P, se simuló el tratamiento de efluentes cloacales de una ciudad de 20000 habitantes (2380 m<sup>3</sup>/d), mediante una configuración A2O (anaerobia ANA1 – anóxica AX2 – aerobia AER1) (Figura 1) con las características señaladas en la Tabla 1. La simulación se realizó utilizando el software BIOWIN 6.2. Los datos cinéticos y estequiométricos utilizados, fueron los proporcionados por defecto por el software. Los lodos activados (en conjunto con los sólidos primarios) se estabilizaron mediante digestión anaerobia a 35 °C. La temperatura de operación para el sistema biológico previo fijó en 20 °C. El reciclo de lodos activados (RAS) al reactor anaerobio se fijó en 1976 m<sup>3</sup>/d (80 % referido al flujo de influente), y el reciclo de licor de mezcla nitrificado (RLM) al reactor anóxico en 7140 m<sup>3</sup>/d (300 % respecto al influente). La tasa de purga de sólidos (de la unidad de separación posterior al digester de sólidos) se definió igual a 2,15 m<sup>3</sup>/d. Estos caudales se definieron por iteraciones sucesivas, para lograr tiempos de retención celular adecuados en los reactores biológicos y consecuentemente, remociones aceptables de P, N y materia orgánica.

Tabla 1. Características de la configuración A2O utilizada para el tratamiento del efluente cloacal típico.

<b>Influente</b>	DQO = 500 mg/L PT = 10 mgP/L NTK = 45 mgN/L Alcalinidad = 2.4 mmol/L Fracción de nitrógeno amoniacal = 0,66 mg-N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /mg-NTK Fracción de P-OP/PT = 0,5 mg-P-OP/mg-PT	Sólidos suspendidos inorgánicos (ISS) = 45 mg/L Sólidos suspendidos totales (SST) = 250 mg/L	Fracción biodegradable soluble = 0,16 Fracción no biodegradable soluble = 0,05 Fracción no biodegradable particulada = 0,13 Fracción biodegradable particulada = 0,12
<b>Separador primario</b>	Fracción de flujo inferior respecto del flujo de ingreso = 0,005	Eficiencia de remoción de sólidos = 55 %	
<b>Reactor anaerobio</b>	Volumen: 215 m <sup>3</sup>	Profundidad: 4,5 m	Ancho: 4 m
<b>Reactor anóxico</b>	Volumen: 300 m <sup>3</sup>	Profundidad: 4,5 m	Ancho: 4 m
<b>Reactor aireado</b>	Volumen: 600 m <sup>3</sup>	Profundidad: 4,5 m Ancho: 4 m	OD = 2 mg/L
<b>Clarificador secundario (ideal)</b>	Flujo volumétrico inferior = 2000 m <sup>3</sup> /d	Eficiencia de remoción de sólidos = 99,9 %	
<b>Digester de lodos</b>	Tiempo de residencia hidráulico = 28 d		

Para modelar la precipitación de estruvita, y definir el potencial de recuperación de P-OP a partir del P-OP ingresante, se utilizó un reactor completamente agitado con un caudal de 177 L/d de cloruro de magnesio en solución acuosa (3 mol/L) y 350 L/d de hidróxido de sodio (3 mol/L) para ajustar el pH en 9 (mínima solubilidad de la estruvita) [7].

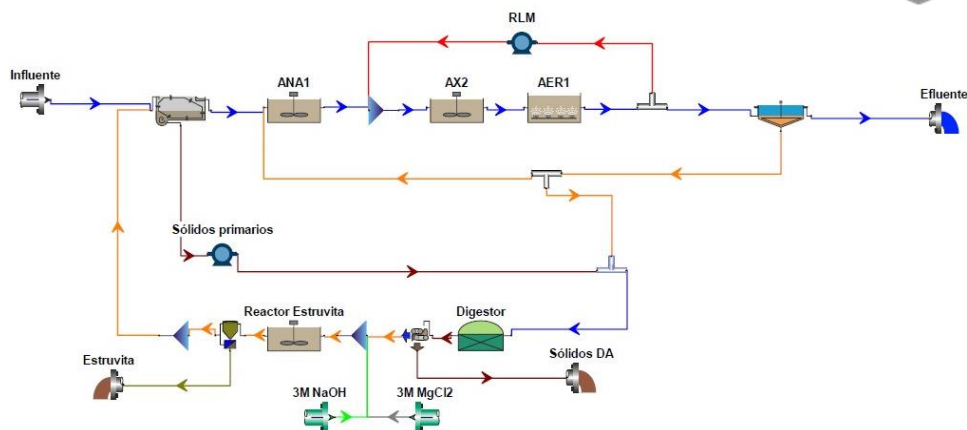


Figura 1. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de efluentes con recuperación de P

#### IV. Resultados

Con las condiciones simuladas, además de cumplir los requerimientos de la normativa (Tabla 2), se logra recuperar un 55 % del PO-P ingresante en forma de estruvita, con una producción de estruvita de 52 kg/d.

Tabla 2. Características del efluente descargado.

	DBO - total [mg/L]	NTK [mgN/L]	N – NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mgN/L]	N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mgN/L]	P-OP soluble [mgP/L]	P –Total [mgP/L]	SST [mg/L]
Efluente	2,4	6,2	8,2	4,2	2,9	3,3	7,9

#### V. Conclusiones

Aspirar a la máxima recuperación/reutilización del P a partir de flujos de residuos que se desperdician actualmente, es una necesidad ante la problemática de la explotación no renovable del P para producir alimentos. En este sentido, el P que termina en los efluentes domésticos, y que actualmente se desperdicia, es susceptible de ser recuperado. Según los resultados de simulación preliminares de este trabajo, a partir del P diario recuperado como estruvita, de los efluentes cloacales de una ciudad de 20000 habitantes, es posible fertilizar 135 hectáreas de tierra cultivable por año (según datos de capacidad de fertilización de la estruvita reportados [5,6]). Este trabajo es parte de un trabajo en marcha en el que se determinarán parámetros y condiciones de operación de remoción/recuperación de P a escala de laboratorio, para efluentes reales tanto cloacales como industriales, con miras a cerrar la cadena de valor del P.

#### Referencias

- [1] European sustainable phosphorus platform, “Hardly any raw phosphorus is available in Europe”, <https://bit.ly/3hbYs4Z>
- [2] European Commission sustainable phosphorus platform, “Critical raw materials 2020” <https://bit.ly/2SGMMh7>
- [3] Li, B., Udugama, I. A., Mansouri, S. S., Yu, W., Baroutian, S., Gernaey, K. V., & Young, B. R. (2019). An exploration of barriers for commercializing phosphorus recovery technologies. *J. Clean. Prod.*, 229, 1342-1354.
- [4] Jaffer, Y., Clark, T. A., Pearce, P., & Parsons, S. A. (2002). *Water Res.*, 36(7), 1834-1842.
- [5] European Fertilizer Manufacturers Association, «Phosphorus essential element for food» *Production*, pp. 9-10, 2000.
- [6] Zheng, F., Huang C., & Norton, L. (2004). *J. Environ. Qual.*, 33, 2174–2182.
- [7] Bhuiyan, M. I. H., Mavinic, D. S., & Beckie, R. D. (2007). *Environ. Tech.*, 28(9), 1015-1026.