

Implementación de un sistema de recuperación de fósforo en la EDAR de Calahorra

A. Bouzas^{1*}, R. Barat², J. Ribes¹, L. Borrás¹, N. Martí¹, J. Ferrer², D. Mangin³, C. Cogné³, S. Labouret³, E. Morales⁴, S. Doñate⁴, S. Grau⁴, L. Pastor⁴, A. Seco¹.

¹ Dpto. de Ingeniería Química, Universitat de València. Avinguda de la Universitat s/n. 46100 Burjassot, Valencia, España

² Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, IIAMA. Universitat Politècnica de València. Cami de Vera, s/n. 46022, Valencia, España

³ Laboratoire d'Automatique et de Génie des Procédés (LAGEP), Université Lyon 1, UMR CNRS 5007, CPE Lyon, France

⁴ Depuración de Aguas del Mediterráneo (DAM). Avenida Benjamín Franklin, 21. 46980 Parque Tecnológico, Paterna, Valencia, Spain

*alberto.bouzas@uv.es

Resumen

La gestión sostenible del fósforo (P) en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) es clave en la recuperación y reciclaje de este recurso. El proyecto LIFE PHORWater pretende demostrar la viabilidad y la sostenibilidad de la gestión global del P en EDAR con el fin de maximizar su recuperación mediante cristalización como estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). En este trabajo se presenta la implementación y evaluación de un sistema de recuperación de P en la EDAR de Calahorra (La Rioja, España), incluyendo la optimización de la gestión de corrientes de la línea de fangos y la operación continua de una planta de cristalización. La configuración implementada se basa en la elutriación del lodo mixto contenido en la cámara de mezcla mediante su recirculación al espesador de gravedad. Esta configuración reduce casi un 50% la precipitación incontrolada en el digestor anaerobio e incrementa la disponibilidad de P para su recuperación desde un 9% del P total afluente a la EDAR hasta un 17%. El reactor de cristalización ha sido operado en continuo con éxito alcanzando eficiencias de precipitación de P del 92%, obteniendo partículas de tamaño superior a 200 μm , con contenidos en metales pesados y sustancias prioritarias muy inferiores a las habituales en fangos de EDAR urbana.

Palabras Clave: Cristalización; EDAR urbana; Estruvita; Precipitación; Recuperación de nutrientes.

Introducción

La escasez del fósforo (P) y los problemas de eutrofización de acuíferos causados por el vertido de efluentes de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) requieren de una gestión sostenible de este recurso en las EDAR. Por otra parte, en EDAR con Eliminación Biológica de Fósforo (EBP) y digestión anaerobia de fangos son frecuentes los problemas operacionales asociados a la precipitación incontrolada de P en la línea de fangos. En este contexto, el proyecto LIFE PHORWater pretende demostrar la viabilidad y la sostenibilidad de la gestión global del P en la EDAR de Calahorra (La Rioja, España) con el fin de maximizar su recuperación mediante cristalización como estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$).

Estudios previos realizados en esta EDAR (Bouzas *et al.*, 2015) demostraron una adecuada eliminación de fósforo en la línea de aguas (81-95%), una precipitación significativa en el digestor anaerobio (9,5 g P/kg fango tratado), siendo la estruvita uno de los posibles precipitados formados, y un bajo potencial de fósforo disponible para su recuperación (9% del P afluente a la EDAR). A partir de estos resultados, se realizaron estudios de simulación utilizando el software DESASS© (Ferrer *et al.*, 2008) y se propuso una optimización de la línea de fangos para obtener una corriente rica en P adecuada para el proceso de cristalización, reduciendo a su vez la precipitación incontrolada de P en el digestor.

En este trabajo se evalúa la implementación de este sistema de recuperación de P en la EDAR de Calahorra, incluyendo la optimización de la gestión de corrientes de la línea de fangos y la operación continua de la planta de cristalización.

Materiales y Métodos

La configuración propuesta (Figura 1) consiste en la elutriación del lodo mixto (primario y secundario) contenido en la cámara de mezcla mediante su recirculación al espesador por gravedad.

En la cámara de mezcla se favorece la hidrólisis del polifosfato, almacenado intracelularmente en el fango secundario, debido a la presencia de ácidos grasos volátiles (AGV) y a las condiciones anaerobias que se alcanzan. La elutriación de este fango en el espesador conlleva la extracción del P, generando un sobrenadante enriquecido en P que se alimenta al cristalizador.

La simplicidad de las modificaciones y el bajo coste económico que suponían fueron cruciales para implementar esta configuración.

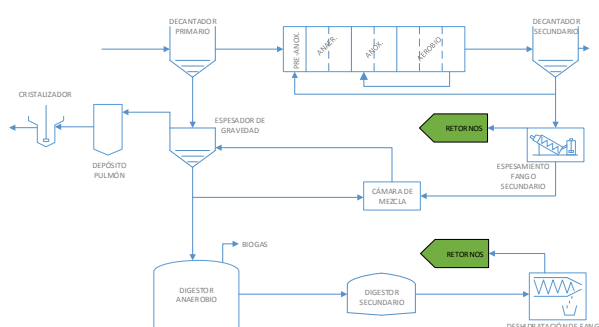


Figura 1. Vista aérea y diagrama de flujo de la EDAR de Calahorra

Estudios de simulación determinaron las condiciones óptimas de operación, siendo los parámetros más relevantes en la gestión de corrientes: el caudal de elutriación desde la cámara de mezcla al espesador por gravedad, el caudal alimentado al digestor y la altura del manto de fango en el espesador.

El caudal medio de elutriación durante el período experimental fue de 62 m³/d. Para operar correctamente la línea de fangos se desarrolló un sistema de control del proceso de elutriación.

El reactor de cristalización (Figura 2) consiste en un tanque agitado de 5,12 m³ de volumen, compuesto de una zona de reacción, dotada de un agitador tipo axial y tres conducciones para la entrada del alimento y la dosificación de los reactivos; y una zona de sedimentación diseñada para mejorar la eficiencia de recuperación de fósforo.

Para alcanzar la relación molar Mg/P necesaria para precipitar estruvita se adicionó MgCl₂ y para mantener el pH en el valor deseado (pH=8,7) se utilizó NaOH y se desarrolló un sistema de control basado en lógica difusa (Chanona *et al.*, 2006).

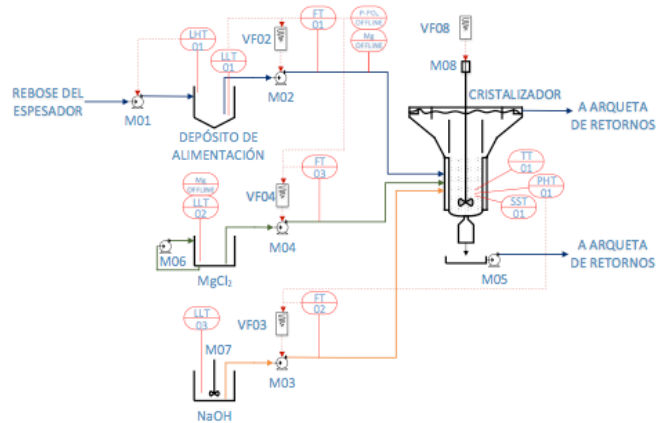


Figura 2. Imagen y esquema de la planta piloto de cristalización

Resultados y Discusión

La implementación del sistema de recuperación de P, incluyendo la optimización de la línea de fangos y la operación en continuo del cristalizador, finalizó en mayo de 2015. A partir de este momento se realizó una exhaustiva campaña analítica para evaluar la configuración propuesta en cuanto a la reducción de la precipitación incontrolada de fósforo en la línea de fangos y al incremento de la disponibilidad de P en los sobrenadantes generados.

Las campañas analíticas fueron espaciadas 20 días de acuerdo con el tiempo de retención hidráulico (TRH) del digestor. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos operando la línea de fangos bajo la optimización propuesta (operación con elutriación) en comparación con la operación convencional (sin elutriación).

Con el fin de comparar ambos periodos operacionales, los resultados se han referido al caudal másico de fangos tratados. Es importante destacar, que durante ambos periodos la línea de aguas de la EDAR presentó buenos rendimientos de eliminación biológica de fósforo, comprendidos entre un 80 y 92%.

	Operación con elutriación (3136 kgST/d)	Operación convencional (4057 kgST/d)
P perdido (gP/kg fango):		
Precipitación en el digestor	5,5	9,5
Precipitación cámara de mezcla	4,6	3,8
Precipitación en el digestor secundario	0,4	0,3
Fango deshidratado	0,4	0,2
P perdido total	10,9	13,8
P disponible (gP/kg fango):		
Sobrenadante espesador por gravedad	1,5	0,4
Sobrenadante centrífuga	2,4	1,7
P total disponible	3,9	2,1
%P disponible	26	13

Tabla 1. Evaluación del P perdido y P disponible para su recuperación como estruvita

Los resultados obtenidos muestran que operando la línea de fangos bajo la configuración propuesta es posible reducir la precipitación incontrolada de fósforo en el digestor anaerobio casi en un 50%. La reducción de la carga de P al digestor anaerobio potenciando su extracción y separación previa mediante elutriación presenta resultados muy satisfactorios para minimizar la precipitación incontrolada en el digestor anaerobio y los problemas operacionales asociados a ésta. Tal y como se observa, existen otras etapas de la línea de fangos en las que se pierde P (cámara de mezcla, digestor secundario y fango deshidratado) aunque estos valores no se han visto prácticamente afectados por la optimización de la línea de fangos.

En cuanto a la disponibilidad de P en los sobrenadantes generados, los resultados obtenidos muestran un incremento muy significativo del % de P disponible desde un 13% a un 26% (P que puede ser recuperado respecto al P total disponible en la línea de fangos). En el sobrenadante del espesador es donde se observa un incremento más significativo debido al efecto del sistema de elutriación del fango mixto. Refiriendo estos valores al P afluente a la EDAR, un 17% del P total afluente podría recuperarse, frente al 9% obtenido para el período operacional sin elutriación.

El cristizador se alimentó con 12,5 m³/d de sobrenadante del espesador (30% del caudal de sobrenadante) lo que supone un TRH de 4 horas en la zona de reacción. La Tabla 2 muestra la caracterización de la corriente afluente al cristizador. La eficiencia media de precipitación de fósforo, definida en base al P-PO₄ afluente y efluente, fue de 92% y la producción de estruvita de 7,8 kg/d, aproximadamente.

Afluente al cristizador			
		media	s.d.
Q	(m ³ /d)	12,5	2,2
P-PO₄	(mg/L)	94,0	17,4
N-NH₄	(mg/L)	98,0	13,9
Mg²⁺	(mg/L)	45,0	11,4
Ca²⁺	(mg/L)	201,6	24,1
K⁺	(mg/L)	82,7	23,1
P_T	(mg/L)	113,5	20,1
pH		6,4	0,2
Relaciones molares			
Ca/P		1,7	0,4
Mg/P		0,6	0,2
N/P		2,4	0,4

Tabla 2. Composición del afluente al reactor de cristalización

Los cristales formados mostraron un tamaño adecuado (> 200 µm) y se confirmó la obtención de estruvita mediante difracción de Rayos X. El producto obtenido presentó un contenido en metales pesados y sustancias prioritarias muy inferiores a las habituales en fangos de EDAR urbana. Actualmente, se está realizando un estudio de validación de la estruvita formada como fertilizante mediante ensayos de caracterización y aplicación agrícola.

Conclusiones

Las principales conclusiones extraídas en la implementación del sistema de recuperación de P en la EDAR de Calahorra son:

- La reducción de la carga de P al digestor anaerobio potenciando su extracción y separación previa mediante elutriación reduce casi un 50% la precipitación incontrolada en el digestor anaerobio y los problemas operacionales asociados a ésta.
- El P disponible para ser recuperado ha aumentado desde un 9% del P total afluente a la EDAR (operación convencional) hasta un 17% (operación con elutriación).
- El reactor de cristalización ha sido operado en continuo alcanzando eficiencias de precipitación de P del 92% y una producción media de estruvita de 7,8 kg/d.
- Ensayos de caracterización y aplicación agrícola validarán el uso de la estruvita obtenida como fertilizante.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido preparado bajo la co-financiación del Instrumento Financiero Europeo para el Medio ambiente (LIFE+) durante la realización del proyecto "PHORWater" (LIFE12ENV/ES/000441). El equipo PHORWater agradece el apoyo económico del Instrumento Financiero Europeo para el Medio Ambiente (LIFE+).

Referencias

1. Bouzas, A., Barat, R., Borrás, L., Martí, N., Seco, A., Ferrer, J., Mangin, D., Doñate, S., Grau, S., Pastor, L. (2015). Calahorra WWTP upgrade to maximize phosphorus recovery as struvite. IWA Specialist Conference. Nutrient Removal and Recovery: moving innovation into practice.
2. Ferrer, J., Seco, A., Serralta, J., Ribes, J., Manga, J., Asensi, E., Morenilla, J.J. And Llavador, F. (2008). DESASS: A software tool for designing, simulating and optimising WWTPs. *Environ Modell Softw*, 23(1), 19-26.
3. Chanona, J., Pastor, L., Borrás, L., Seco, A. (2006) Application of a fuzzy algorithm for pH control in a struvite crystallization reactor. *Water Sci. Technol.* 53, 161–168.