



# Estudio de la gestión de corrientes en la depuradora Murcia-Este para promover la recuperación de fósforo



Miguel Roldán<sup>1</sup>, Aurora Seco<sup>2</sup>, Alicia Gadea<sup>3</sup>, Núria Basset<sup>4</sup>, Ramón Barat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CALAGUA – Unidad Mixta UV-UPV, Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València | [www.aguas-residuales.es](http://www.aguas-residuales.es) ■ <sup>2</sup>CALAGUA – Unidad Mixta UV-UPV, Departament d'Enginyeria Química, Universitat de València | [www.aguas-residuales.es](http://www.aguas-residuales.es)

■ <sup>3</sup>EMUASA | [www.emuasa.es](http://www.emuasa.es) ■ <sup>4</sup>CETAQUA | [www.cetaqua.com](http://www.cetaqua.com)

EN ESTE ESTUDIO SE EVALUÓ POR SIMULACIÓN LA MODIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE CORRIENTES DE LA LÍNEA DE FANGO CON EL OBJETIVO DE AUMENTAR LA CANTIDAD DE FÓSFORO RECUPERABLE ANTES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DESDE UN PUNTO DE VISTA TÉCNICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL ●

El proyecto LIFE ENRICH surge como una oportunidad para intentar mitigar los problemas que podrían tener lugar en las próximas décadas a causa del agotamiento de las reservas minerales de fósforo (P), que pondría en dificultades la producción de fertilizantes fosforados y, en consecuencia, dificultaría más el acceso a la alimentación de la población mundial.

En la comunidad científica existe un amplio consenso en torno a la recuperación de P en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) ya

que son receptoras de grandes cantidades de este y en ellas se puede encontrar en altas concentraciones. El proceso se basa en el aprovechamiento de los mecanismos con que se elimina el P en la línea de aguas por medio de los organismos acumuladores de polifosfato. Tras su eliminación en el agua residual, el P puede ser liberado al medio como ortofosfato ( $PO_4$ ) en condiciones anaerobias tras el consumo de ácidos grasos volátiles (AGV). Posteriormente, separando la fracción líquida del fango puede obtenerse una corriente con alto contenido en  $PO_4$  y

bajo en sólidos suspendidos, apta para la recuperación de P cristalizando estruvita o fosfatos de calcio.

Actualmente ya hay distintas tecnologías implantadas a escala industrial para recuperar P a partir de los centradors de centrífuga tras la digestión anaerobia de los fangos, pero poseen un potencial de recuperación limitado como consecuencia de la precipitación incontrolada de P durante y después de la digestión. Esto reduce la cantidad de P recuperable y además supone un reto operacional al depositarse sobre las paredes de conducciones,

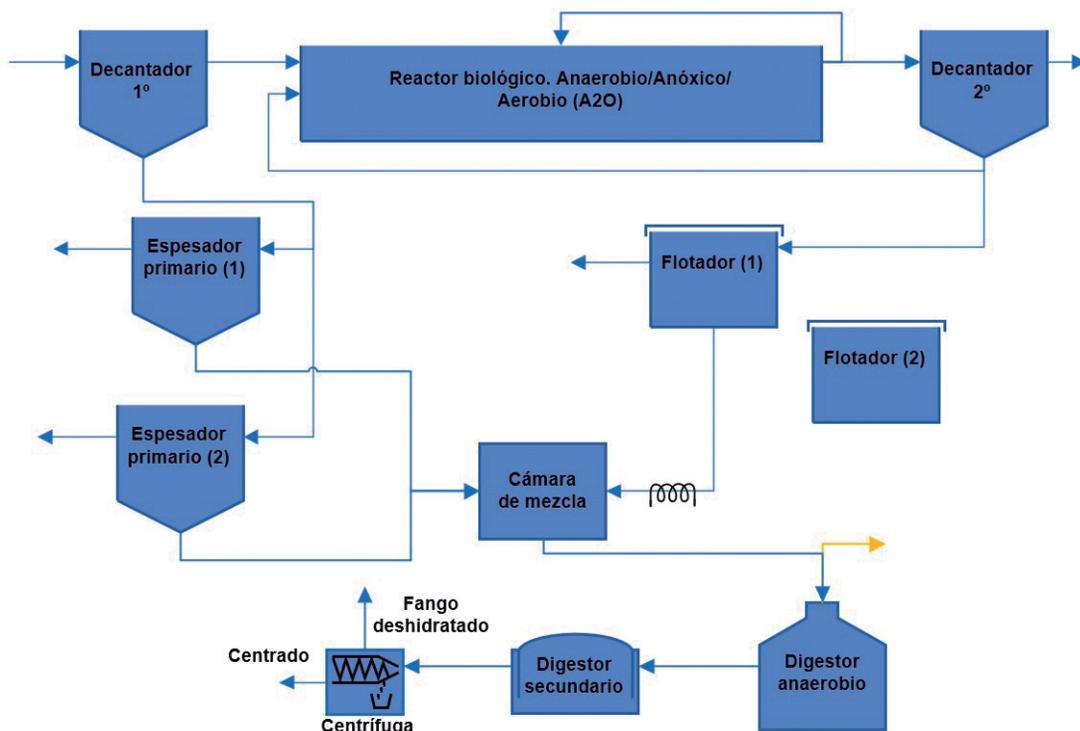


Figura 1. Configuración inicial (Configuración 0, C0) de la EDAR de Murcia Este

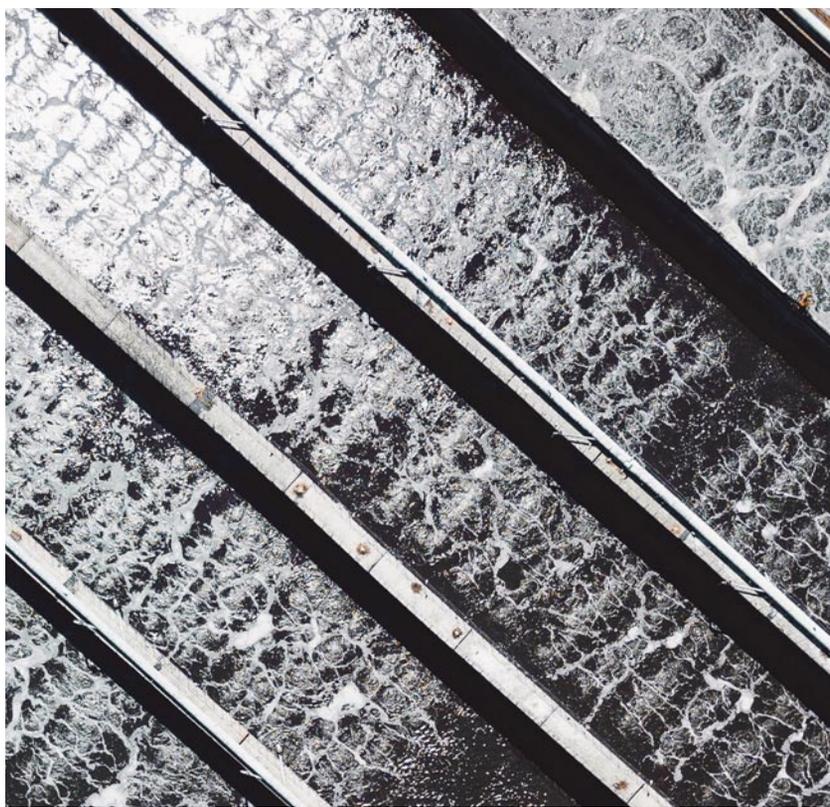
reactores y equipos, suponiendo un coste económico considerable. En el proyecto LIFE ENRICH la atención se centra en el estudio de la obtención de corrientes con un elevado contenido en  $\text{PO}_4$  antes de la digestión, de modo que la cantidad de P recuperable aumenta significativamente y se reducen los problemas relacionados con la precipitación incontrolada.

En este estudio se evaluó por simulación la modificación de la gestión de corrientes de la línea de fango en la EDAR de Murcia Este (España) con el objetivo de aumentar la cantidad de P recuperable antes de la digestión anaerobia desde un punto de vista técnico, económico y ambiental, buscando además la minimización de los costes al aprovechar los equipos con los que cuenta la EDAR. Mientras la primera configuración estudiada (C1) se basa en la obtención de una corriente líquida enriquecida en  $\text{PO}_4$  por medio de la elutriación en los espesadores del fango biológico con el fango primario (Bouzas y otros, 2019) la segunda (C2), basada en la tecnología patentada WASSTRIP® (Cullen y otros, 2013) emplea el espesado mecánico para obtener una corriente de recuperación rica en  $\text{PO}_4$ .

La EDAR, que trata un caudal medio de  $97.701 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , cuenta en la línea de aguas con pretratamiento, decantación primaria lamelar, un reactor biológico de  $41.405 \text{ m}^3$  de esquema A2O y decantación secundaria. La línea de fangos consta de dos espesadores por gravedad para el fango primario, dos espesadores de fango por flotación para el fango biológico (aunque tan sólo uno de ellos es empleado), cámara de mezcla, digestión anaerobia y centrífuga (Figura 1).

### IMPLEMENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

C1 se implementó reconvirtiendo el flotador no utilizado en reactor anaero-



bio en el que, junto a la cámara de mezcla, se almacenó el fango biológico espesado con un tiempo de retención conjunto aproximado de 24 horas. Posteriormente, bombeándose el fango hacia los espesadores de gravedad, este fue elutriado con el fango primario. El sobrenadante obtenido, enriquecido en  $\text{PO}_4$ , fue empleado como corriente de recuperación (ver Figura 2). Por su parte, en C2, el fango primario espesado se elutrió en los espesadores con el fango primario obteniéndose un sobrenadante enriquecido en AGV. Este fue bombeado hacia ambos espesadores por flotación, reconvertidos en reactores anaerobios. Posteriormente, en espesadores dinámicos, se separó el fango resultante de la corriente de recuperación (ver Figura 3). Además, también se estudió la recuperación de P en la EDAR operada con la configuración actual (ver Figura 1), empleando las tecnologías más convencionales de recuperación a partir del centrado de las centrífugas (C0).

### RECUPERACIÓN TRAS IMPLEMENTAR LAS CONFIGURACIONES

Tras realizar tres campañas analíticas para caracterizar las corrientes de la planta y calibrar los parámetros del modelo biológico BNRM2 (Barat y otros, 2012) se simuló la operación y optimización de las distintas alternativas con DESASS 7.1 (Ferrer y otros, 2008). Para C1 se obtuvo un contenido en  $\text{PO}_4$  en los sobrenadantes de los espesadores por gravedad del 43% de la carga total de fósforo afluente de la planta. La concentración de  $\text{PO}_4$  de esta corriente fue de  $169 \text{ mgP L}^{-1}$ . Además, siguiendo la metodología descrita en Martí y otros (2008) se cuantificó la precipitación incontrolada de P, reduciéndose un 53% con respecto a la operación inicial de la planta. Por su parte, para C2 se obtuvo un contenido en  $\text{PO}_4$  en el centrado del espesado dinámico que alcanzó el

48% del P total del afluente de la EDAR con una concentración de  $104 \text{ mgP L}^{-1}$  y una reducción en la precipitación incontrolada del 60%. En contraste, C0 fue capaz de recuperar un 4% del P afluente, con una concentración  $\text{PO}_4$  en la corriente de recuperación de  $50 \text{ mgP L}^{-1}$ .

Considerando un 95% de rendimiento en el proceso de cristalización, implantando C1 se producirían anualmente hasta 1053 t de estruvita, para C2 1177 t, mientras que para C0 la producción sería de 92 t.

Un efecto adicional fruto de la modificación en la gestión de corrientes de la línea de fangos fue el incremento en la producción de biogás durante la digestión anaerobia, desde  $8300 \text{ Nm}^3 \text{ d}^{-1}$  para C0 hasta 8430 para C1 y 8910 para C2.

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida se realizó de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14040 empleando, para realizar el inventario, la base de datos Ecoinvent Database v3 en el software SimaPro 8.5 (Pré Consultants, Países Bajos) y siguiendo el método Hierachist ReCiPe(H) v1.02 midpoint. Los impactos se cuantificaron como emisiones que contribuyen al calentamiento global, que se midieron en  $\text{kg CO}_2 \text{ eq.}$ , para la operación de las diferentes líneas de fangos en el proceso de recuperación de P. Se incluyeron la energía necesaria para bombeos, espesado, agitación en los depósitos anaerobios, digestión anaerobia, proceso de co-generación, deshidratación de fan-

gos, su posterior uso agrícola y los químicos requeridos.

Realizando el análisis por tonelada de  $\text{PO}_4$  medido como P en la corriente de recuperación como unidad funcional se obtuvieron unas emisiones para C0 de  $46000 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ , mientras que para C1 y C2 estas fueron de 3900 y  $4100 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$  respectivamente. Analizando las emisiones por  $\text{hm}^3$  anual de agua tratada se obtuvieron unas emisiones de para C0 de  $15700 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ , siendo estas para C1 de  $15370 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$  y para C2 de  $18000 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COSTES

El análisis de costes estudió los gastos totales anualizados, divididos en inversión en capital (CAPEX) y ope-



**Stemm  
GRABS**

## EQUIPOS STEMM PARA MANIPULACION DE GRANELES

PULPOS, CUCHARAS BIVALVA, PINZAS Y EQUIPOS ESPECIALES  
ACCIONAMIENTO A CABLES Y ELECTROHIDRAULICO

**www.stemm.com**

STEMM EQUIPOS INDUSTRIALES, S.L. PNO. APATTA, 20.400 IBARRA (ESPAÑA)  
TELÉFONO: +34 943 335 033 FAX: +34 943 333 506 E-MAIL: info@stemm.com

Plazos de entrega:  
3-4 semanas  
Conozca todos los precios  
**On-line**  
Solicite su  
password !!!!

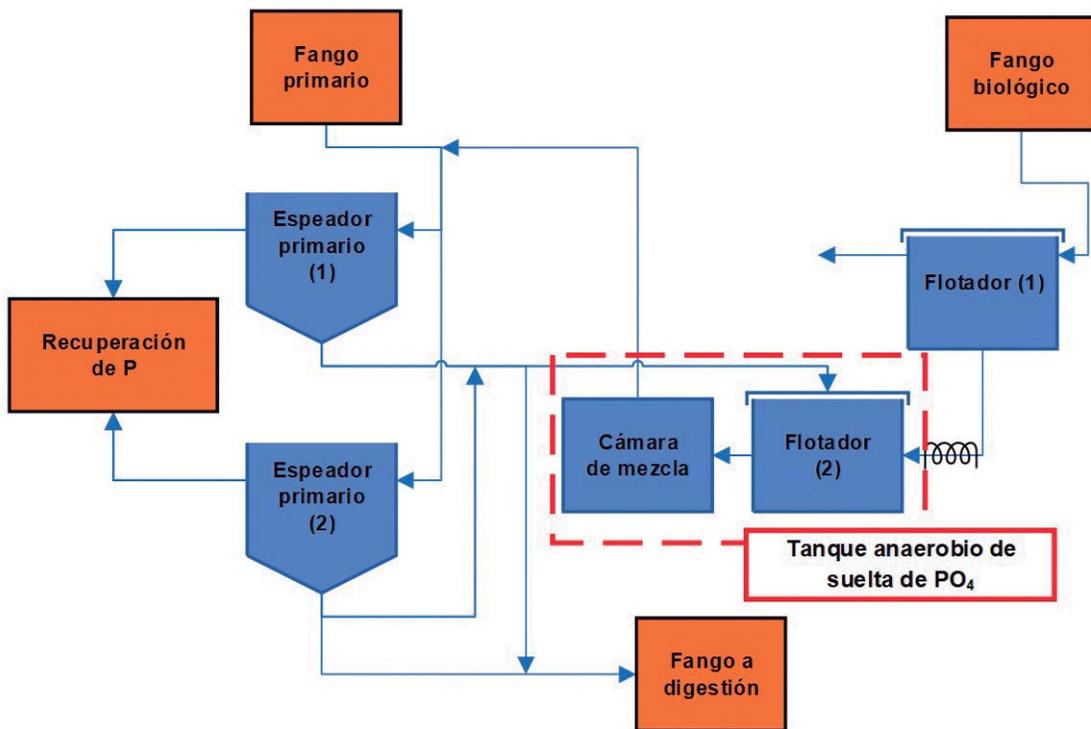


Figura 2. Esquema de la implementación de la Configuración 1 (C1) en la EDAR de Murcia Este

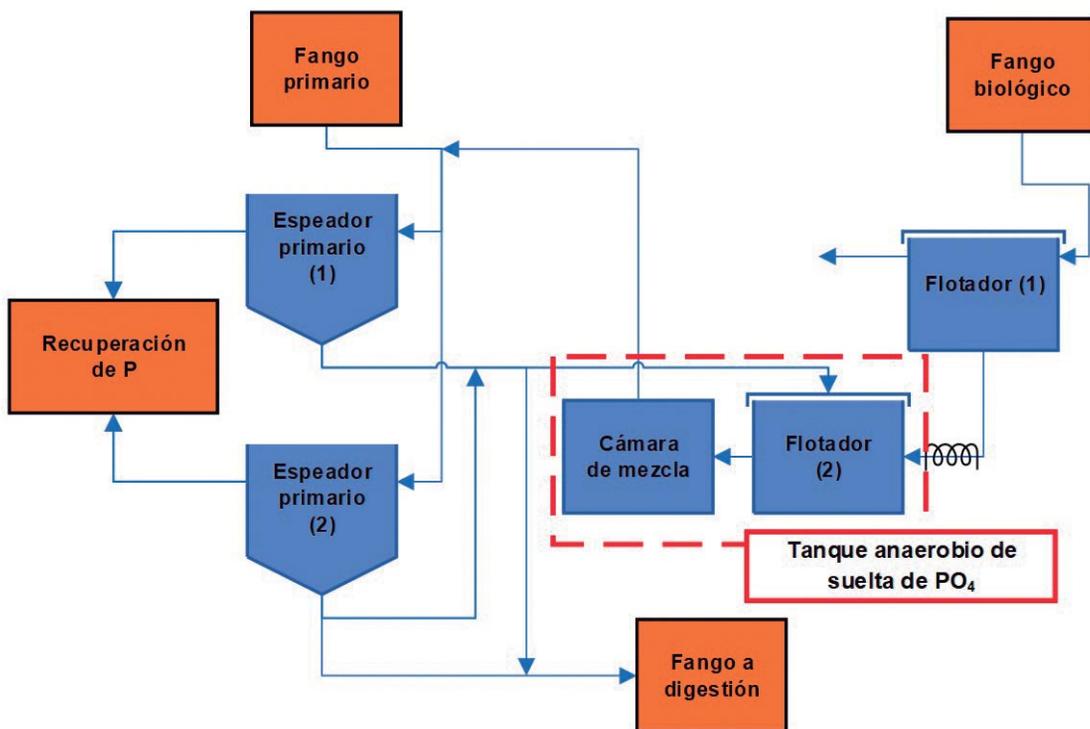


Figura 3. Esquema de la implementación de la Configuración 2 (C2) en la EDAR de Murcia Este

Los resultados muestran como la realización de estudios holísticos para alternativas aparentemente similares pueden significar un progreso notable para alcanzar un nuevo paradigma dentro del tratamiento de aguas residuales y contribuir a superar las limitaciones de las tecnologías actuales

ración (OPEX) operando la línea de fangos con los esquemas C0, C1 y C2. Para ello se consideraron los elementos diferenciales de la línea de fangos, esto es: el coste asociado para la adquisición e instalación de nuevos equipos (válvulas, bombas, conducciones, agitadores, variadores de frecuencia, sondas, espesadores dinámicos y analizadores de  $\text{PO}_4$ ) para los CAPEX y la energía requerida para operar la línea de fangos, los químicos, la gestión de los fangos producidos para uso agrícola y el mantenimiento y la sustitución de los equipos al final de su vida útil y los gastos derivados de la precipitación incontrolada como OPEX. Todo esto resultó en unos gastos anuales por tonelada de  $\text{P-PO}_4$  en la corriente de recuperación de 22600 €, 1600 € y 1900 € para las configuraciones C0, C1 y C2, respectivamente. Las diferencias respecto a C0 fueron debidas al gran aumento del contenido en  $\text{PO}_4$  en la corriente de extracción. Por su parte, empleando el caudal tratado durante el año en  $\text{hm}^3$  para normalizar los costes anualizados se obtuvo un coste de 7700 €  $\text{hm}^{-3}$  para C0, 6300 €  $\text{hm}^{-3}$  para C1 y de 8200 €  $\text{hm}^{-3}$  para C2. Los CAPEX penalizaron C2 (1100 €  $\text{hm}^{-3}$ ) en comparación con C1 (430 €  $\text{hm}^{-3}$ ) al requerir de la adquisición de espesado-

res dinámicos. Desde el punto de vista de los OPEX, C1 y C2 redujeron el gasto de mantenimiento asociado a la precipitación incontrolada de P y aumentaron la producción de biogás en comparación con C0. Sin embargo, finalmente los OPEX de C2 aumentaron al requerir del bombeo de caudales mayores y de una cantidad elevada de polielectrolito durante el espesado dinámico.

Considerando un precio de venta de la estruvita de entre 55 y 300 € por tonelada, se produciría el retorno en la inversión para C1 en un periodo que oscilaría entre 5 y 27 meses, mientras que para C2 este se produciría entre 11 y 61 meses.

## CONCLUSIONES

Con este estudio se confirma que la implementación de ambas modificaciones (C1 y C2) en la gestión de las corrientes de fangos en la EDAR de Murcia Este para recuperar P antes de la digestión anaerobia ofrece mejores resultados a niveles técnico, ambiental y económico que la recuperación post-digestión (C0).

A pesar de tener C1 una capacidad de recuperación inferior a C2, sus menores impactos ambientales y costes económicos inferiores, la hicieron ser

considerada finalmente la opción más adecuada para su implantación en la EDAR de Murcia-Este.

Finalmente, todos estos resultados muestran como la realización de estudios holísticos para alternativas aparentemente similares pueden significar un progreso notable para alcanzar un nuevo paradigma dentro del tratamiento de aguas residuales y contribuir a superar las limitaciones de las tecnologías actuales.

## Agradecimientos

El programa LIFE, el instrumento de la Unión Europea para la financiación para la investigación sobre la acción climática y medioambiental ha apoyado y cofinanciado este estudio como parte del proyecto LIFE ENRICH (LIFE16 ENV/ES/000375).

## REFERENCIAS

- Bouzas, A., Martí, N., Grau, S., Barat, R., Mangin, D., Pastor, L. (2019). Implementation of a global P-recovery system in urban wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 227; 130-140. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.126>
- Cullen, N., Baur, R., & Schauer, P. (2013). Three years of operation of North America's first nutrient recovery facility. *Water Science and Technology*, 68(4), 763-768.
- Barat, R., Serralta, J., Ruano, M. V., & Jimenez, E. (2012). Biological Nutrient Removal Model No 2 (BNRM2): A general model for Wastewater Treatment Plants. *Water Science and Technology*, 2, 1-56. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.004>
- The Ferrer, J., Seco, A., Serralta, J., Ribes, J., Manga, J., Asensi, E., Morenilla, J. J., & Llavador, F. (2008). DESASS: A software tool for designing, simulating and optimising WWTPs. *Environmental Modelling and Software*, 23(1), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.04.005>
- Martí, N., Bouzas, A., Seco, A., & Ferrer, J. (2008). Struvite precipitation assessment in anaerobic digestion processes. *Chemical Engineering Journal*, 141(1-3), 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.10.023> ●