

# CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## LIFE ENRICH

Recuperación de Nitrógeno y Fosforo  
del agua residual e integración en la  
cadena de valor







**Autor Principal:** M Mar Castro (Empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia S.A., Emuasa)

**Otros autores:** Alicia Gadea (Emuasa), Eva Mena (Emuasa), Ramón Barat (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València), Nuria Basset (Cetaqua Barcelona)

## ÍNDICE

1. LIFE ENRICH. RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFORO DEL AGUA RESIDUAL E INTEGRACIÓN EN LA CADENA DE VALOR.....	2
2. PALABRAS CLAVE:.....	2
3. RESUMEN: .....	2
4. INTRODUCCIÓN.....	3
5. METODOLOGIA .....	4
6. RESULTADOS .....	5
7. DISCUSIÓN.....	7
8. CONCLUSIONES .....	7
9. BIBLIOGRAFIA.....	7

## LIFE ENRICH. RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFORO DEL AGUA RESIDUAL E INTEGRACIÓN EN LA CADENA DE VALOR

**PALABRAS CLAVE:** nutrientes, valorización residuos, economía circular, EDAR

### RESUMEN:

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son nutrientes esenciales para la producción agrícola y para garantizar la seguridad alimentaria, pero la producción de N a escala industrial conlleva un elevado impacto medioambiental y el P es un recurso natural finito con perspectivas de escasez. Ambos recursos son eliminados en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), ya que su descarga al medio está limitada, acarreando un coste energético y ocasionando problemas operacionales debido a precipitación incontrolada de fosfatos de amonio y magnesio en forma de estruvita, especialmente en equipos y tuberías tras la etapa de digestión anaerobia.

El proyecto LIFE ENRICH, iniciado en septiembre de 2017, con una duración de 3,5 años y un presupuesto total de 2,789 M€, está liderado por el Centro Tecnológico del Agua (Cetaqua) y cuenta con la participación del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA), la comunidad de regantes Aigües del Segarra Garrigues (ASG), la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia (EMUASA), la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y la Universitat Politècnica de València (UPV).

El proyecto está permitiendo la validación a escala real de una tecnología que permitirá la recuperación de N y P de las aguas residuales y utilizarlos como fertilizantes. Los nutrientes obtenidos se analizarán en detalle y se mezclarán para obtener productos óptimos para su uso en determinados cultivos, impulsando así un modelo de economía circular.

Las tareas preliminares han posibilitado el planteamiento de una nueva vía de tratamiento en la EDAR Murcia Este (100.000 m<sup>3</sup>/día), gestionada por Emuasa, de forma que el P y el N puedan ser recuperados. Una vez identificada la configuración de la línea de fangos más favorable en términos de recuperación de P, tanto desde un punto de vista técnico como económico, en 2019 la planta se ha sometido a una importante obra de remodelación y actualmente está funcionando bajo las nuevas condiciones de tratamiento. De forma simultánea se están operando tres pilotos, alimentados con diferentes efluentes de la planta, para producir estruvita y sales de amonio.

## INTRODUCCIÓN

El N y P son nutrientes esenciales para la producción agrícola y para garantizar la seguridad alimentaria, pero la producción de N a escala industrial conlleva un elevado impacto medioambiental y el P es un recurso natural finito con perspectivas de escasez. Ambos recursos son eliminados en las EDAR, ya que su descarga al medio está limitada, acarreado un coste energético y ocasionando problemas operacionales debido a precipitación incontrolada de fosfatos de amonio y magnesio en forma de estruvita, especialmente en equipos y tuberías tras la etapa de digestión. La estruvita, fosfato de magnesio y amonio hexahidratado ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ), es un compuesto cristalino que se genera de forma natural en material orgánico en descomposición. Además de la síntesis química, las aguas residuales ricas en fósforo y nitrógeno pueden utilizarse como recurso para su producción [1]

El proyecto LIFE ENRICH (Enhanced Nitrogen and Phosphorus Recovery from waste water and Integration in the value Chain, [www.life-enrich.eu/](http://www.life-enrich.eu/)), iniciado en septiembre de 2017, con una duración de 3,5 años y un presupuesto total de 2,789 M€, está liderado por Cetaqua y cuenta con la participación del IRTA, la comunidad de regantes ASG, Emuasa, UPC y UPV. El objetivo principal del proyecto es contribuir a la economía circular mediante la recuperación de nutrientes del agua residual y su uso como fertilizantes (Figura 1). Para la consecución de este objetivo se ha planteado una secuencia de tratamiento innovador que integra distintas tecnologías, permitiendo la recuperación eficiente del nitrógeno y el fósforo contenidos en las aguas residuales, en forma de sales de amonio y de estruvita. Los productos obtenidos se mezclarán con el fin de obtener fertilizantes adecuados para los cultivos de destino. Paralelamente al desarrollo técnico, se definirá un modelo de negocio para toda la cadena de valor del reciclaje de nutrientes, promoviendo así la replicabilidad y la transferibilidad de los resultados del proyecto en otras regiones de la UE.

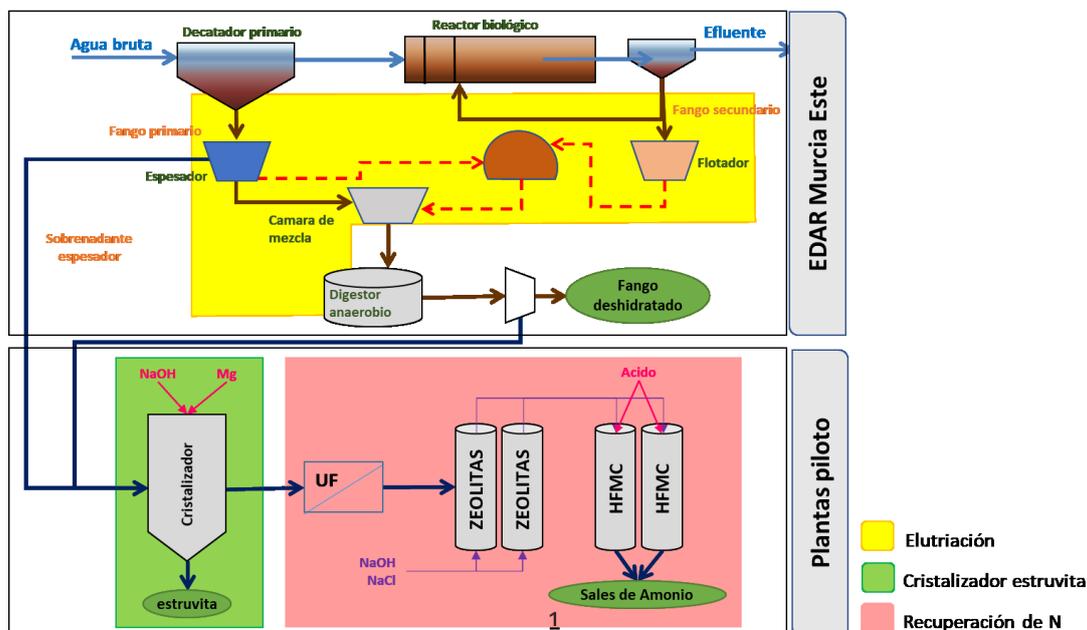


Figura 1. Esquema del tratamiento.

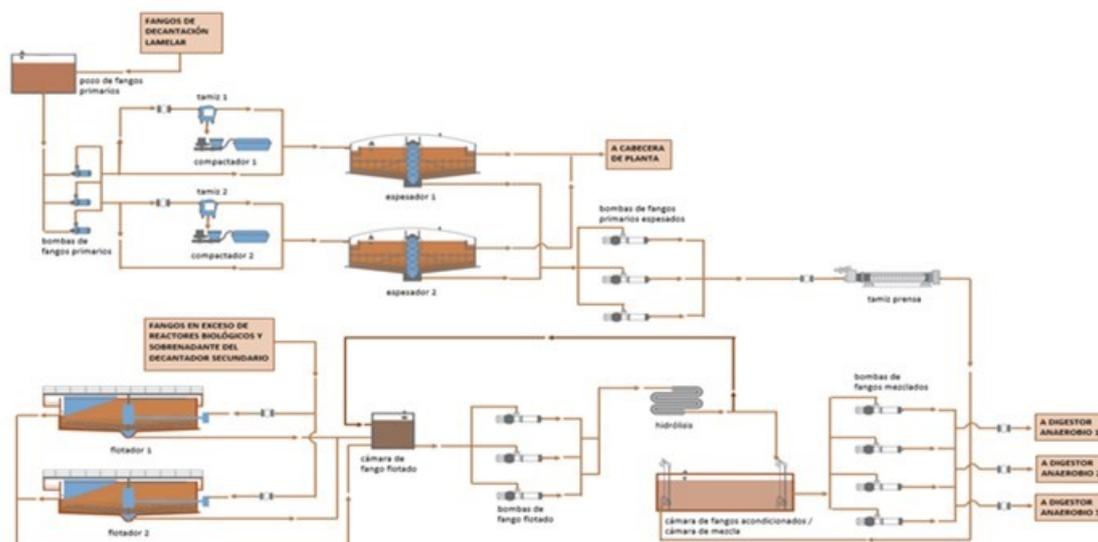
Los objetivos del proyecto son de especial importancia en este momento ya que Comisión Europea (CE) ha anunciado recientemente que va a incluir la estruvita en el listado de fertilizantes permitiendo su comercialización y aplicación en Europa en 2022, ya que actualmente la normativa europea no permite la aplicación en campo de fertilizantes como la estruvita o las sales de amonio. El compuesto es de gran importancia dentro de la estrategia europea de “economía circular” que permitirá la dinamización de los mercados para las “materias primas secundarias” (materiales residuales que son vendidos y usados para su reciclaje en la fabricación de otros productos), pero también es fundamental a nivel estratégico, ya que el fósforo se considera materia prima crítica; tiene una gran importancia económica para los países miembros de la Unión Europea porque, si bien es básico para la producción de fertilizantes, el abastecimiento está en situación de riesgo, tanto por su escasez como por la situación geopolítica de las principales minas.

## METODOLOGIA

Las tareas preliminares han incluido una caracterización de las corrientes de la EDAR realizada mediante tres campañas analíticas completas de la línea de aguas y de fangos de la EDAR Murcia Este. Los resultados obtenidos se han utilizado para calibrar los modelos que han permitido a la Universitat Politecnica de Valencia (UPV) desarrollar las simulaciones de la línea de aguas y de fangos de la EDAR Murcia Este. Para la simulación de la EDAR y modificación del proceso se ha utilizado el modelo BNRM2 [2], implementado en el software de simulación DESSAS 7.1 [3]. Los objetivos de la modificación del proceso estudiado al realizar las simulaciones han sido maximizar la recuperación de P y minimizar la precipitación de P incontrolada en las tuberías y equipos después de la etapa de digestión anaerobia. Una vez identificadas las estrategias de operación más favorables, se han analizado desde un punto de vista económico y medioambiental [4].

La situación de partida de la etapa de espesamiento de la EDAR es la que se describe a continuación y se recoge en la Figura 2. Los fangos primarios eliminados de los decantadores lamelares son bombeados hasta dos tamices rotativos y conducidos hasta dos espesadores de gravedad de 15 metros de diámetro y 4 metros de altura útil, cubiertos con una campana de poliéster para su desodorización. La extracción de los fangos primarios espesados se realiza mediante 3 bombas de tornillo helicoidal (1 de reserva) de caudal unitario de 26 m<sup>3</sup>/h a 15 m.c.a. que los impulsan hasta una cámara de mezcla donde son homogeneizados con los fangos en exceso espesados en los flotadores. Los fangos en exceso procedentes del tratamiento biológico son bombeados desde la arqueta de recirculación de fangos hasta los dos espesadores de flotación. Allí son presurizados con aire hasta unos 7.0 kg/cm<sup>2</sup> de presión e inyectados por el deflector central de ambos flotadores. El sistema de presurización se compone de 3 bombas centrifugas horizontales (1 de reserva) de caudal unitario 450 m<sup>3</sup>/h a 51 m.c.a., tres compresores rotativos de 100 Nm<sup>3</sup>/h a 7 kg/cm<sup>2</sup> y dos depósitos a presión de 9.12 m<sup>3</sup> de volumen. De esta manera, el fango biológico espesado que queda en la superficie de los flotadores es retirado mediante unas rasquetas hacia la cámara de fangos flotados. El fango flotado es bombeado hasta la cámara de mezcla, previo paso por un equipo de hidrólisis, a través de tres bombas (1 de reserva) de tornillo helicoidal de caudal unitario regulable 25-50 m<sup>3</sup>/h a 15 m.c.a. La instalación cuenta con un depósito para almacenar codigestato, y un descargadero que actualmente se usa para inyectar lixiviados en la cámara de mezcla. Desde la cámara de mezcla, los fangos homogeneizados junto con los lixiviados son bombeados hasta los digestores,

para lo que se dispone de 4 bombas de tornillo helicoidal (1 de reserva) de caudal unitario regulable 20-50 m<sup>3</sup>/h a 20 m.c.a.

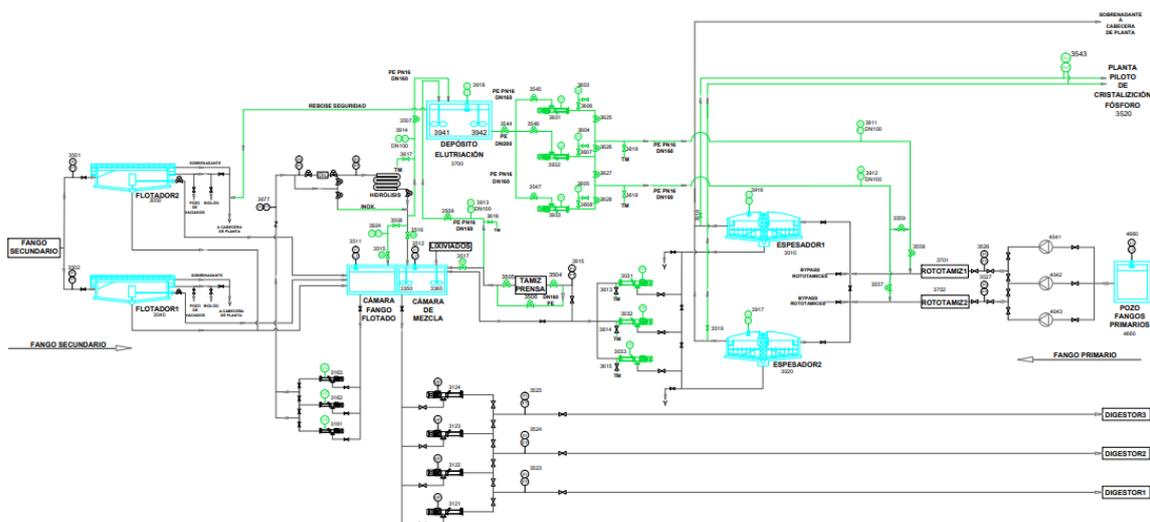


**Figura 2.** Configuración inicial de la línea de fangos de la EDAR Murcia Este.

La solución finalmente seleccionada pasa por incluir una etapa de elutriación. El proceso de elutriación consiste en poner en contacto una corriente de fangos biológicos, ricos en bacterias acumuladoras de fósforo (PAO), con una corriente de fangos ricos en ácidos grasos volátiles (fangos primarios), en ausencia de oxígeno. En estas condiciones, las bacterias PAO liberan el fósforo que han almacenado, previamente en el reactor biológico, en forma de fosfatos. La alternativa inicialmente valorada consistía en elutriar los fangos mixtos en los espesadores primarios e incrementar el volumen de la cámara de mezcla de 79 m<sup>3</sup> a 609 m<sup>3</sup> mediante el empleo de uno de los espesadores secundarios, actualmente sin utilizar.

## RESULTADOS

Además de las premisas de que la configuración a implementar debe mejorar la recuperación potencial de fósforo y reducir los problemas de precipitación incontrolada, también se ha considerado a la hora de abordar la obra el aspecto de que todas las modificaciones de la planta deberían ser reversibles, ya que, si los resultados a escala no son los deseados o se presentan problemas en la operación, la planta deberá de operarse de acuerdo con el esquema tradicional. Por eso, finalmente, en vez de utilizar uno de los espesadores secundarios, se ha optado por incluir un depósito adicional en la instalación. En la nueva configuración de la línea de fangos (Figura 3), los fangos primarios son espesados en dos espesadores por gravedad y el fango secundario es espesado en un flotador. Los fangos secundarios espesados son bombeados, tras pasar por un equipo de hidrolisis, hacia el depósito de elutriación, donde se mezclan con parte del fango primario espesado. El resto del fango primario se envía a la cámara de mezcla, desde donde se bombea a los digestores anaerobios. La mezcla de fangos primarios y secundarios espesados del depósito de elutriación se envían a los espesadores de fango primario. De esta forma se enriquecerá en fósforo la corriente de sobrenadantes de los espesadores por gravedad, recuperándose este mediante un cristalizador de estruvita posterior.



**Figura 3.** Configuración actual de la línea de fangos de la EDAR Murcia Este.

La obra de acondicionamiento de la planta se ha realizado en 2019, incorporando el depósito de elutriación (Figura 4, 720 m<sup>3</sup>, 626 m<sup>3</sup> de volumen útil), equipado con agitadores.



**Figura 4.** Tanque de almacenamiento adicional (depósito de elutriación).

Además de otros equipos de control, se han incorporado en la línea analizadores de P y sensores de nivel de manto de fango en los espesadores, con el fin de que la automatización sea completa y poder definir estrategias de control de proceso avanzadas.

La puesta en marcha se ha realizado durante los meses de octubre y noviembre de 2019 y ha incluido: (i) Pruebas hidráulicas. Test de estanquidad del depósito, tuberías y válvulas y pruebas de bombas; (ii) Pruebas eléctricas. Verificación del correcto funcionamiento en modo local de bombas, agitadores y válvulas automáticas, y (iii) Configuración de equipos de medida continua y verificación de señales locales y remotas de sensores de nivel y caudalímetros.

En paralelo se ha avanzado con la programación para incorporar los equipos en el SCADA de la planta y la implementación en Lodif-BioControl® [5] de un sistema de control basado en lógica difusa desarrollado por el grupo de investigación CALAGUA integrado por personal de la

Universitat de València (Departamento de Ingeniería Química) y Universitat Politècnica de València (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente).

Actualmente se están operando de forma simultánea tres plantas piloto: (i) Cristalizador de estruvita, alimentado con los sobrenadantes de los espesadores primarios, (ii) Planta de zeolitas, alimentada con el escurrido de las centrifugas; esta unidad permite la recuperación de una corriente rica en amonio con la que se alimenta la (iii) Planta de contactores de membranas, en la que se generan distintas sales de amonio.

## DISCUSIÓN

De todas las configuraciones analizadas por la UPV, la alternativa que conduce a unos mejores resultados desde un punto de vista técnico y económico permitiría extraer hasta un 43,1% del fósforo afluente a la EDAR y reducir la precipitación incontrolada en forma de estruvita en hasta un 53% comparado con la situación actual (Roldan et al., 2020), lo cual tendría un impacto importante, no sólo por la recuperación de un compuesto con alto valor añadido, sino por la reducción de problemas operativos derivados de obstrucciones y desgaste de las partes móviles de equipos.

## CONCLUSIONES

A lo largo del proyecto se optimizarán las condiciones de operación de la modificación de la línea de fangos que permitan obtener la máxima cantidad de fósforo en el sobrenadante de los espesantes primarios y, en consecuencia, reducir la cantidad de estruvita que precipita de forma incontrolada a lo largo de la línea.

También se operarán los pilotos para obtener fertilizantes in situ, posibilitando la recuperación de nutrientes y avanzar hasta un modelo de gestión del ciclo del agua más sostenible, con vistas a replicar y transferir los resultados a otras regiones de la Unión Europea.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Fattah, K., 2012. Aseesing Struvite Formation Potential at Wastewater treatment Plants. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3, 548-552.
- [2] Barat, R., Serralta, J., Ruano, M.V., Jimenez, E., 2013. Biological nutrient removal model No 2 (BNRM2): a general model for wastewater treatment plants. *Water Sci. Technol.* 2, 1e56. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.004>
- [3] Ferrer, J., Seco, A., Serralta, J., Ribes, J., Manga, J., Asensi, E., 2008. DESASS: a software tool for designing, simulating and optimising WWTPs. *Environ. Model. Software* 23, 19e26. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.04.005>.
- [4] Roldan, M., Bouzas, A., Seco, A., Mena, E., Mayor, A., Barat, R., 2020. An integral approach to sludge handling in a WWTP operated for EBPR aiming phosphorus recovery: Simulation of alternatives, LCA and LCC analyses. *Water Research* 175.
- [5] M.V. Ruano, A. Robles, T. Gomez-Gil, E. Olivas, P. Hermosilla, J.A. Basiero, J. Serralta, J. Ribes, A. Seco, J. Ferrer (2014). LoDif BioControl: Plataforma para facilitar la implementación de

algoritmos de control y optimización de procesos en las EDAR. FUTURENVIRO, volumen junio 2014, 59-62.