



meta

SIMPOSIO 2025
EVALUACIÓN DE APLICACIÓN DE
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS

Recuperación de nutrientes en la línea de aguas de una EDAR

J. Serralta^a, A. Bouzas^b, J. Carrillo-Abad^b, S. Hernández-Cuenca^a, L. Ruiz-Cosgaya^a, C. Mateo-Defez^b,
L. Pastor, R. Barat^a.

^a CALAGUA – Unitat Mixta UV-UPV, , Institut Universitari d'Investigació d'Enginyeria de l'Aigua i Medi Ambient – IIAMA, Universitat Politècnica de Valencia, Camí de Vera S/n, 46022 Valencia, Spain

^b CALAGUA – Unitat Mixta UV-UPV Departament d'Enginyeria Química, Universitat de València, Avinguda de la Universitat S/n, 46100 Burjassot, Valencia, Spain

Oviedo, 17 y 18 de julio de 2025



Cal
Agua



Unidad Mixta UV-UPV

- + 30 años investigando el tratamiento de aguas residuales



Unidad Mixta UV-UPV

<https://www.aguas-residuales.es>

Staff

VNIVERSITAT DE VALÈNCIA 
Departament d'Enginyeria Química

 **iiama**
Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente


VNIVERSITAT DE VALÈNCIA 525 anys

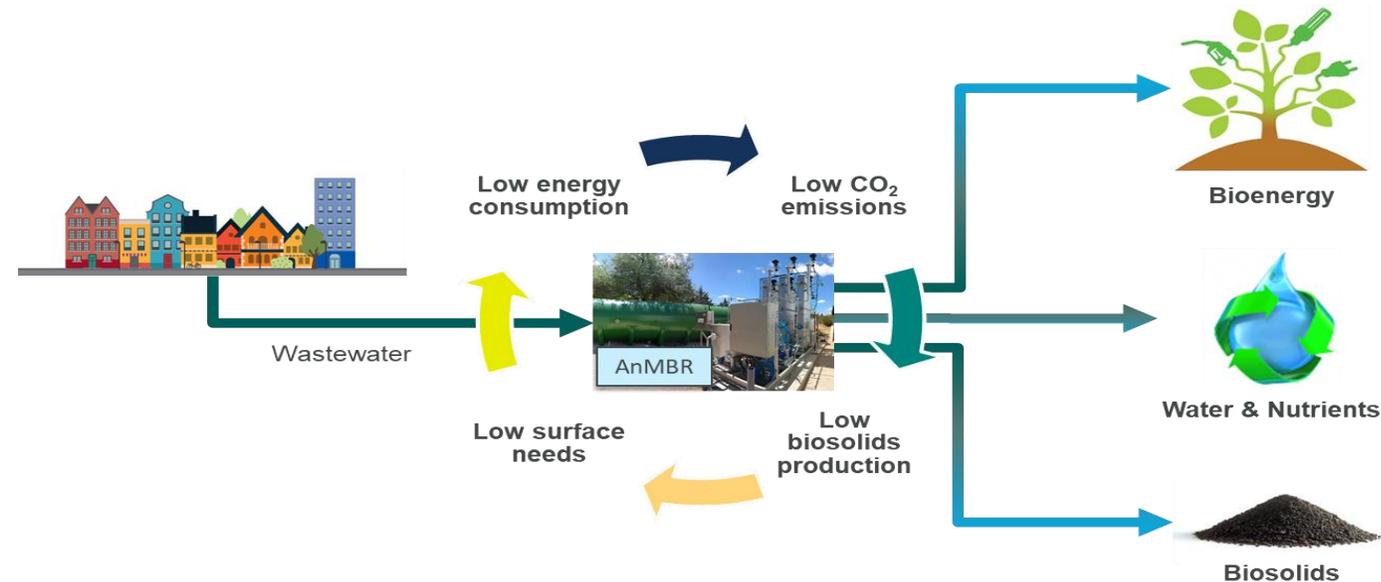
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



- 3 Catedráticos
- 8 Profesores titulares
- 3 AYD
- 3 post-docs
- 16 pre-docs

- **Economía circular en el tratamiento de aguas residuales.**
 - Cambiar el objetivo de las EDAR, pasar de eliminar contaminantes a recuperar recursos
 - Recursos contenidos en el agua residual: agua, energía y nutrientes.

From WWTP to WRRF (Water Resource Recovery Facility)

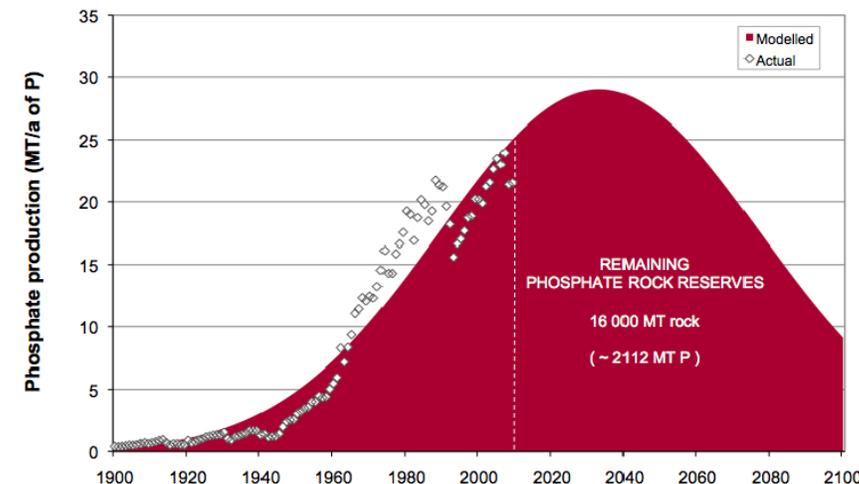


● Problemática del P

- Se extrae de la minería
- Posible agotamiento de las reservas de P
- Incluido en el listado de materias primas críticas desde 2014.

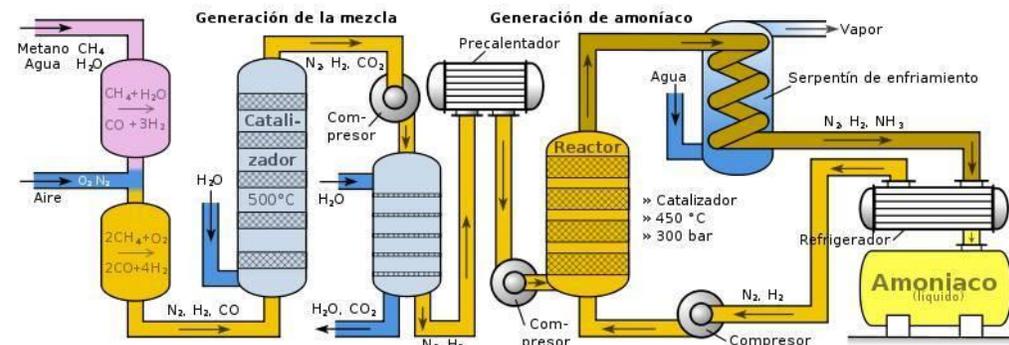
● Recuperación de P.

- Cristalización de estruvita. Tecnología aplicada a nivel industrial en numerosas EDAR (Ej: EDAR Sur, Madrid).
- Reciente modificación del Reglamento Europeo de Fertilizantes para considerarlo fertilizante.
- Necesita concentraciones elevadas (> 60 mg P/l).
- Aplicable al sobrenadante de la digestión anaerobia.



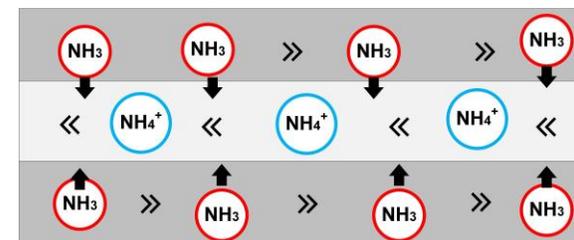
● Problemática del N

- Producido a partir de N_2 mediante Haber-Bosch con gran consumo energético (19.1 kWh/kgN)
- Eliminación en EDAR: elevado consumo energético y emisión de NO_x .



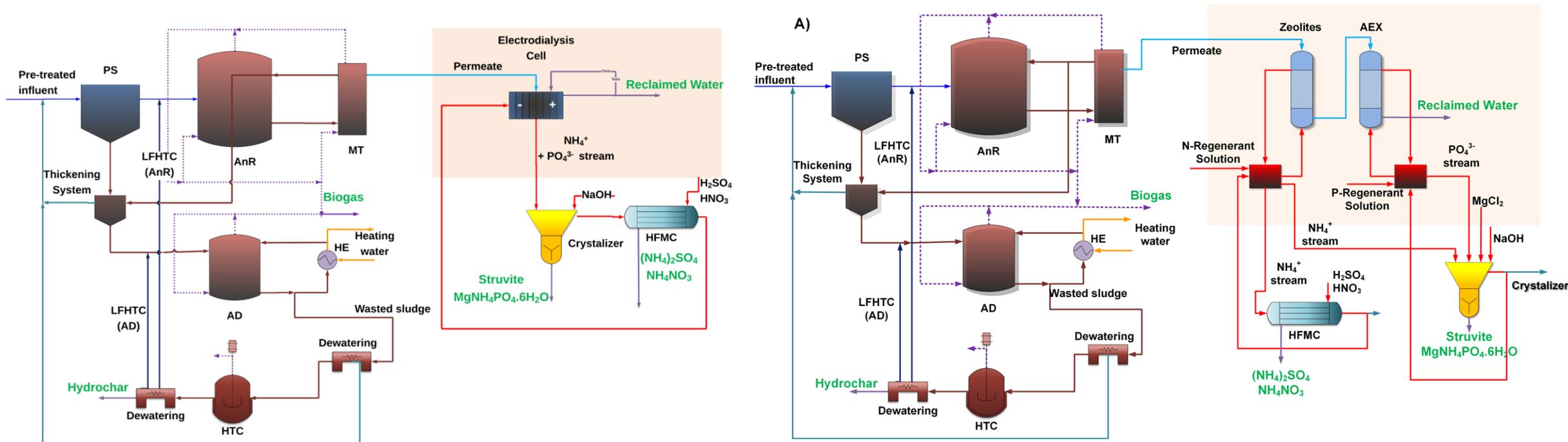
● Recuperación de N

- Contactores de membranas: Membranas permeables a gases. Disolución de sulfato amónico.
- Necesario pretratamiento ($\uparrow\uparrow$ pH y eliminación de SS).
- Necesita concentraciones elevadas (> 300 mg N/l).
- Aplicable al sobrenadante de la digestión anaerobia.
- Muy pocas aplicaciones a escala industrial

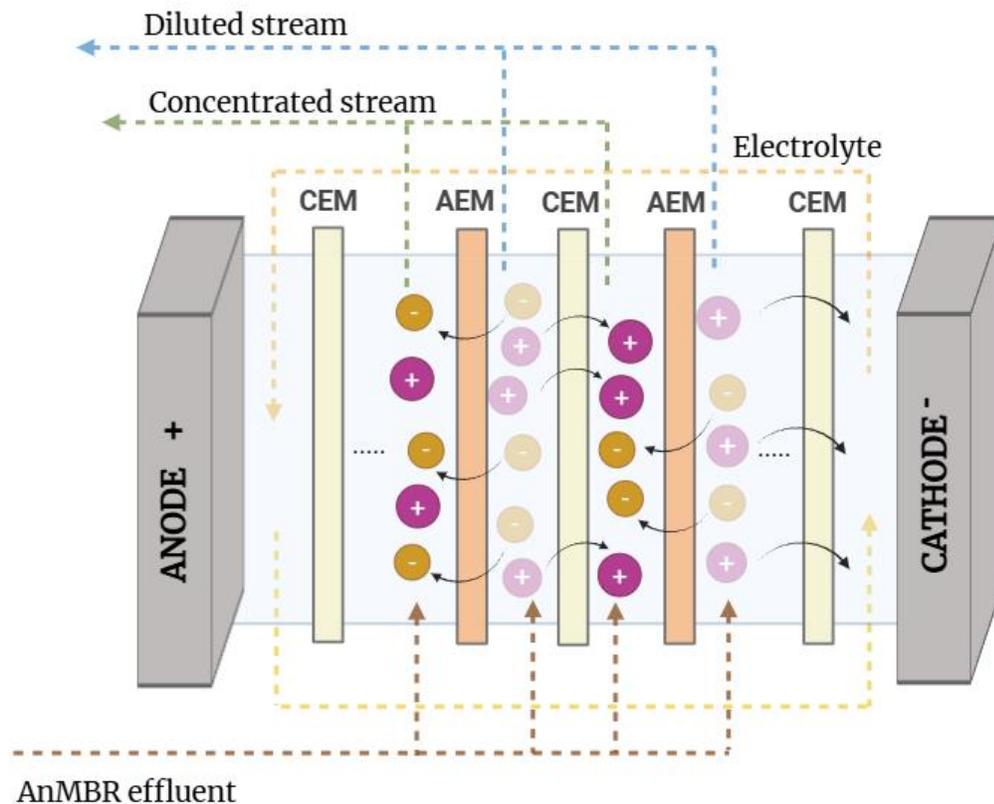


¿Cómo integrar la tecnología AnMBR con la recuperación de nutrientes?

- La mejor opción es la reutilización directa para riego (fertirrigación).
- Tecnologías para concentrar nutrientes: intercambio iónico y electrodiálisis
- PROYECTO RECREATE: Financiado por la Agencia Española de investigación



- Se aplica una corriente eléctrica entre el ánodo y el cátodo
- Se intercalan membranas selectivas (aniónicas y catiónicas) para el movimiento de los iones
- Se obtienen 2 corrientes: 1 corriente diluida y 1 corriente concentrada



OBJETIVOS

- La corriente diluida cumpla requisitos de vertido a zona sensible
- La corriente concentrada permita la aplicación posterior de contactores de membrana y cristalización de estruvita.

Planta de laboratorio BED 1-2 ED
64002 (PCCell GmbH, Germany)

Caudal: 40 L/h

Membranas aniónicas: Acid 100 OT

Membranas catiónicas: PC SKN



2 modos de funcionamiento

- **Galvanostático:** Intensidad constante (necesario incrementar la diferencia de potencial durante el experimento)
- **Potenciostático:** Diferencia de potencial constante. La intensidad de la corriente disminuye durante el experimento.

- Cada experimento consta de un **número variable de ciclos**.
- Un ciclo termina cuando la **conductividad de la corriente diluida** alcanza un valor prefijado o se supera la diferencia máxima de potencial.
- Al final de cada ciclo se retira la corriente diluida y se sustituye por alimento nuevo. La corriente concentrada se mantiene para aumentar las concentraciones de los iones.

Ensayos cortos (4 ciclos) para determinar las condiciones de operación y optimización del consumo energético

Mejores resultados

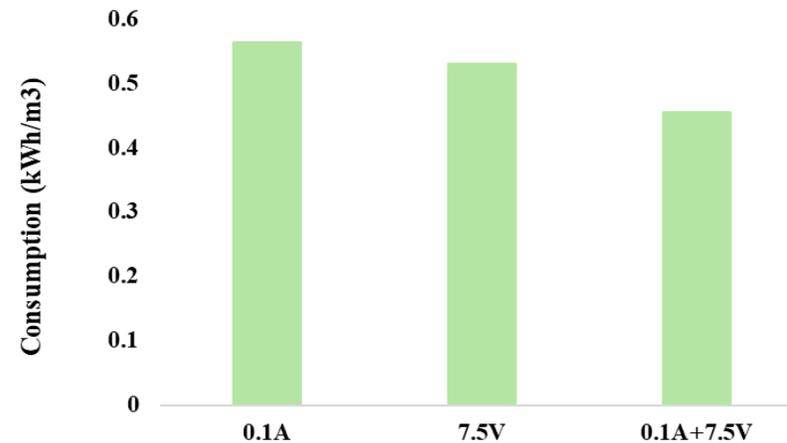
Galvanostático: 0.1 A

Potenciostático: 7.5 V

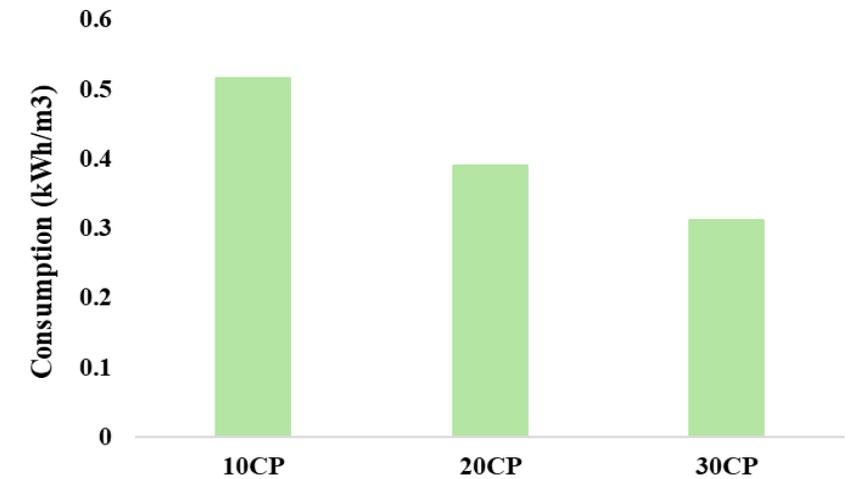
Consumo estimado

0.5 – 0.6 kWh/m³

2 etapas en serie reduce el consumo energético



Aumentar el número de pares de celda reduce el consumo energético



- Resultados experimento largo (20 ciclos).

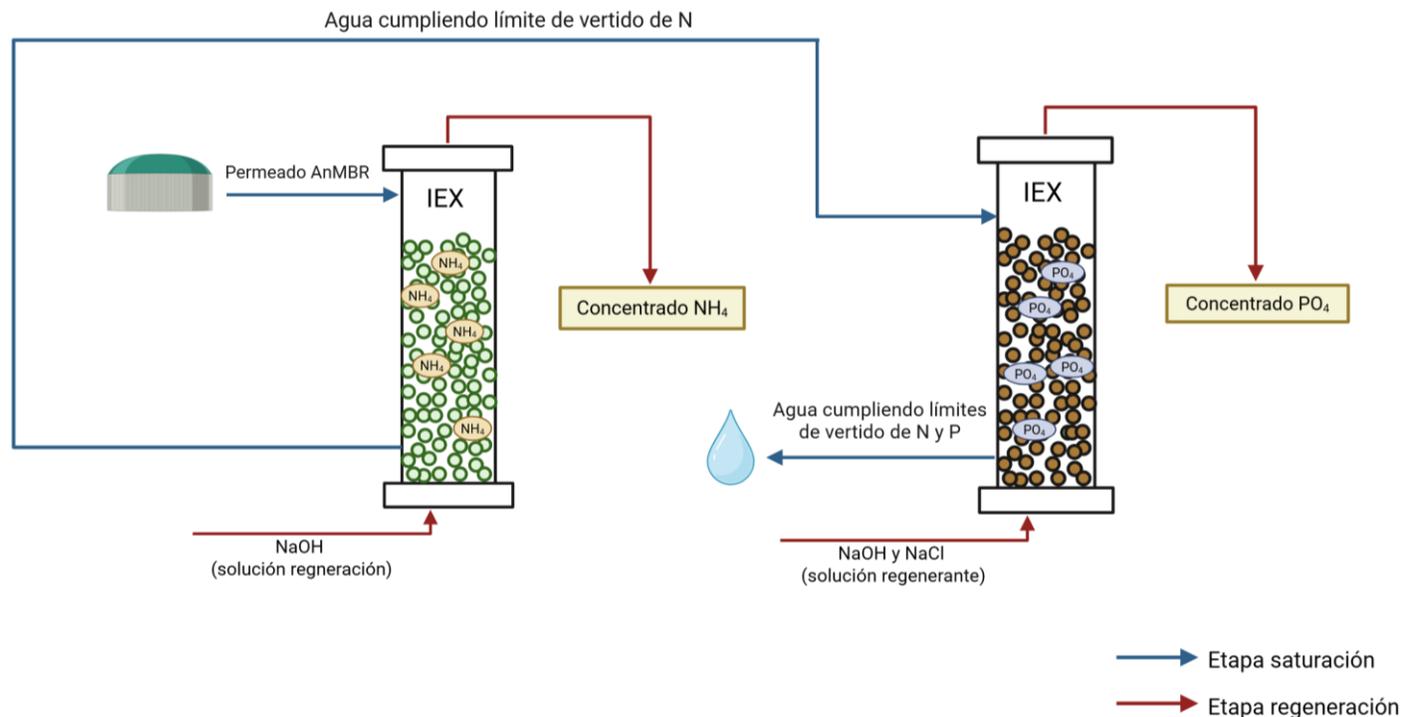
	Alimento (mg/L)	Corriente concentrada (mg/L)	Corriente diluida (mg/L)
Na ⁺	131.8	1732.9	17.9 ± 0.1
NH ₄ -N	59.4	844.1	4.2 ± 0.3
Ca ²⁺	140.5	2036.3	1.1 ± 0.3
Mg ²⁺	40.2	649.6	0.5 ± 0.1
PO ₄ -P	7.7	114.2	0.6 ± 0.2
SO ₄ -S	18.3	180.8	0.3 ± 0.1

OBJETIVOS
CUMPLIDOS

En aguas con elevadas concentraciones de calcio y sulfato se producen problemas de *scaling* en la membrana por la precipitación de **sulfato cálcico**.

INTERCAMBIO IÓNICO

- Se trabaja con dos columnas de intercambio iónico
- Zeolita natural (clinoptilolita) capaz de intercambiar iones amonio por iones sodio
- Resina aniónica comercial (FerrIXA33E) con nanopartículas de óxido de hierro capaz de intercambiar iones fosfato por iones hidroxilo



OBJETIVOS

- Obtener un efluente que cumpla límites de vertido.
- Obtener sendas corrientes concentradas en amonio y fosfato que permitan la recuperación de los nutrientes

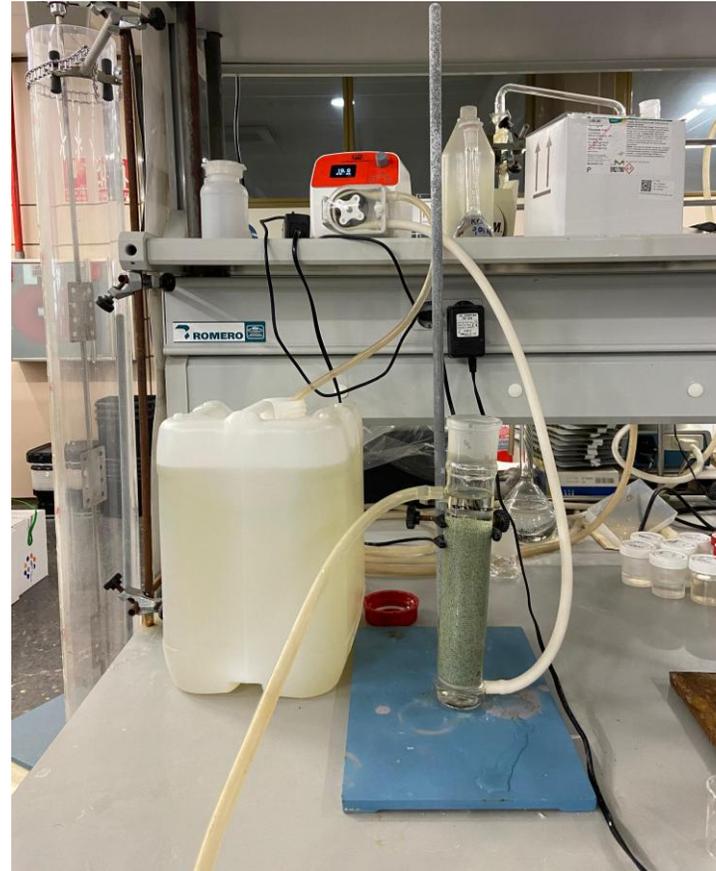
Recuperación de N

Zeolita natural clinoptilolita

Caudal saturación: 17 BV/h

Caudal regeneración: 5,2 BV/h

Concentración regenerante: 0,8% NaOH



- Cada ciclo consta de 3 etapas de: saturación, regeneración y reducción de pH.
- La saturación termina cuando las concentraciones a la salida alcanzan los límites de vertido.
- La regeneración termina cuando se ha recuperado casi el 100% del N retenido.

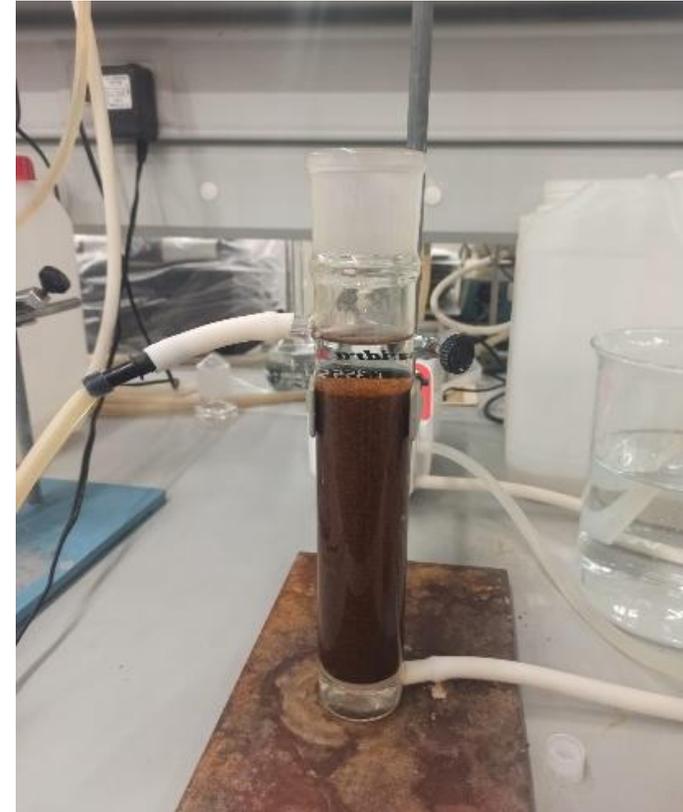
Recuperación de P

Resina comercial FerriX A33E (Purolite)

Caudal saturación: 35 BV/h

Caudal regeneración: 6 BV/h

Concentración regenerante: 2% NaOH + 2%NaCl

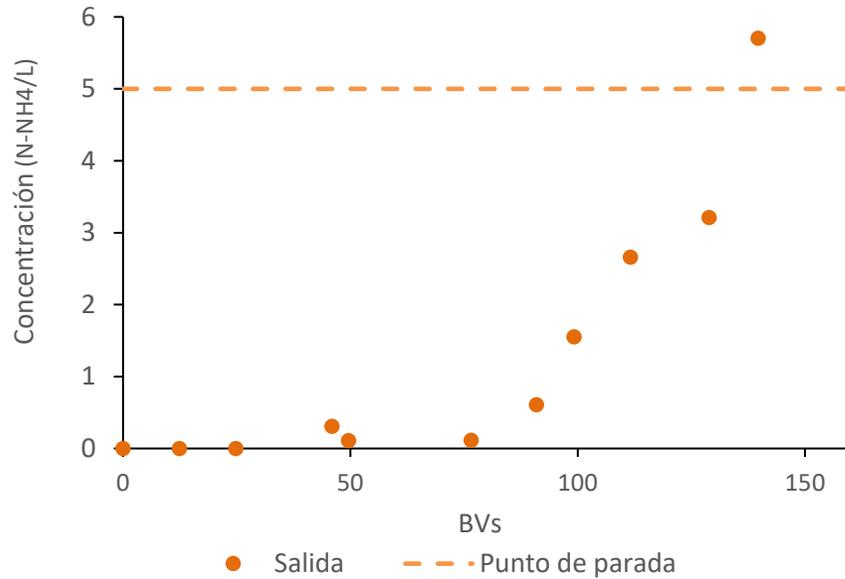


- Cada ciclo consta de 3 etapas de: saturación, regeneración y reducción de pH.
- La saturación termina cuando las concentraciones a la salida alcanzan los límites de vertido.
- La regeneración termina cuando se ha recuperado casi el 100% del P retenido.

RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO

SATURACIÓN Primer ciclo:

Volumen cumpliendo límites de vertido: **139 BV**



REGENERACIÓN Primer ciclo :

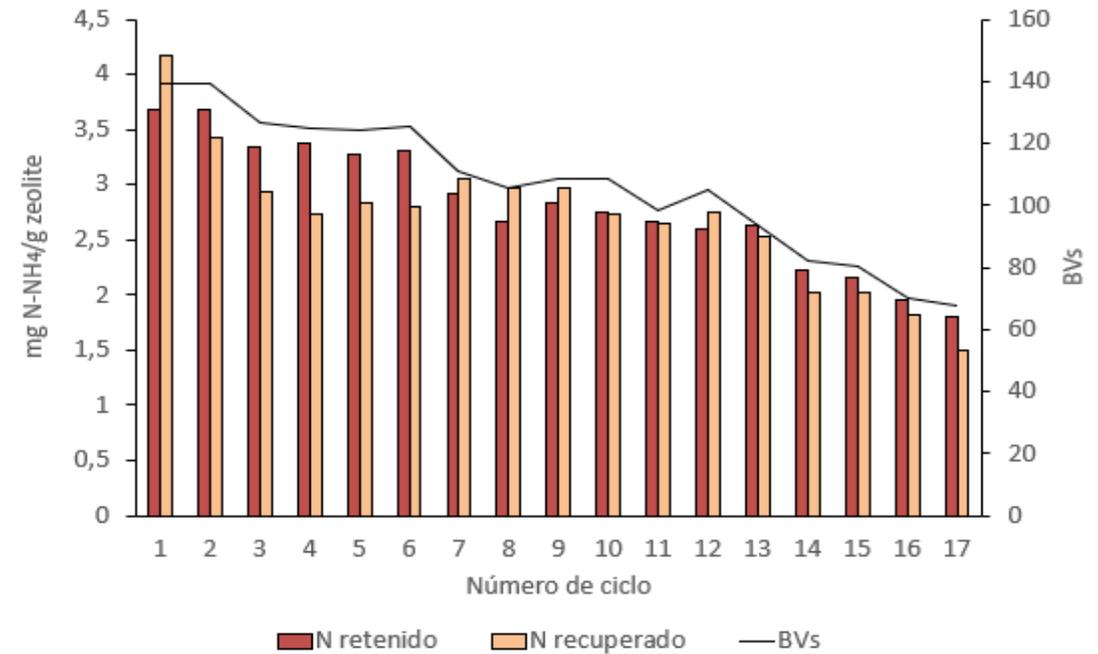
% Nitrógeno recuperado: **>95%**

Concentración alcanzada: **505,6 N-NH₄/L**

Reducción del 50% de la capacidad inicial tras 17 ciclos



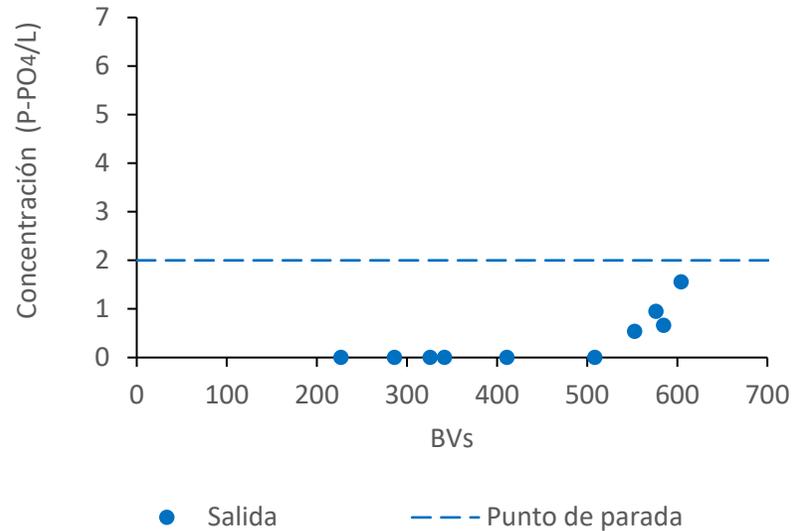
Formación de precipitados de Ca y Mg



RECUPERACIÓN DE FÓSFORO

SATURACIÓN Primer ciclo:

Volumen cumpliendo límites de vertido: **500 BV**

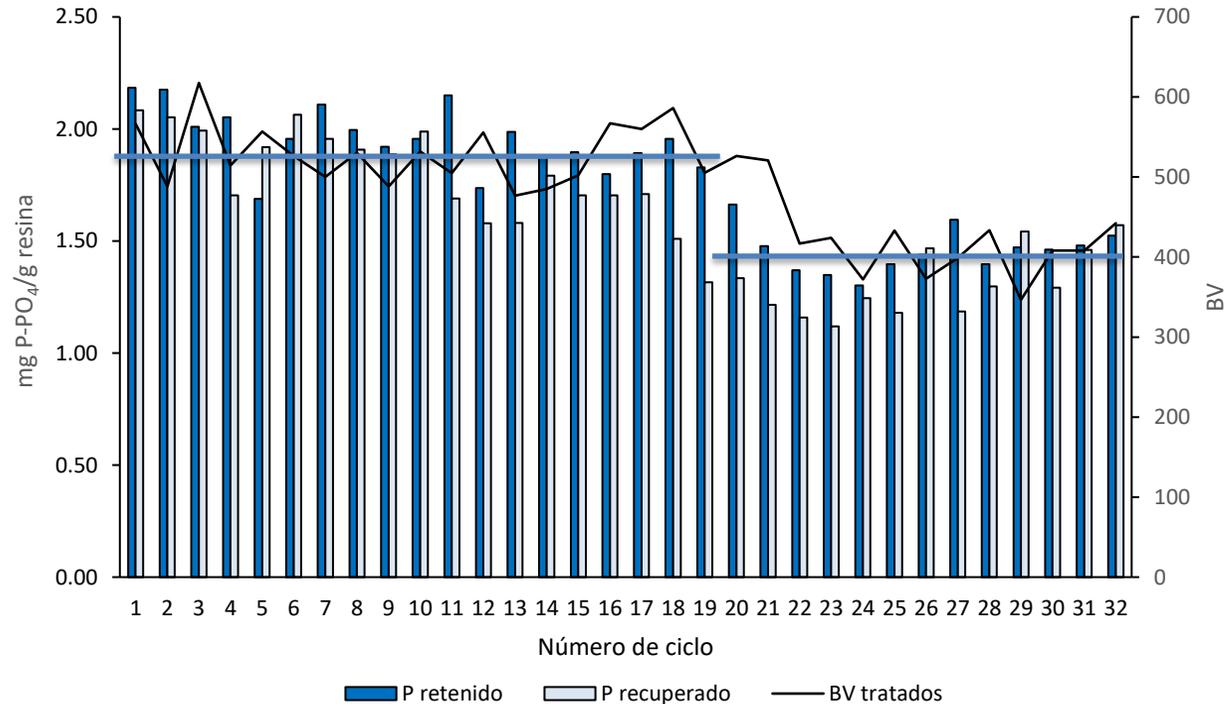


REGENERACIÓN Primer ciclo :

% Fósforo recuperado: **>98%**

Concentración alcanzada: **316,4 mg P-PO₄/L**

Cambio de alimento: agua ultrafiltrada en lugar de permeado del AnMBR. Elevada concentración de sulfato.

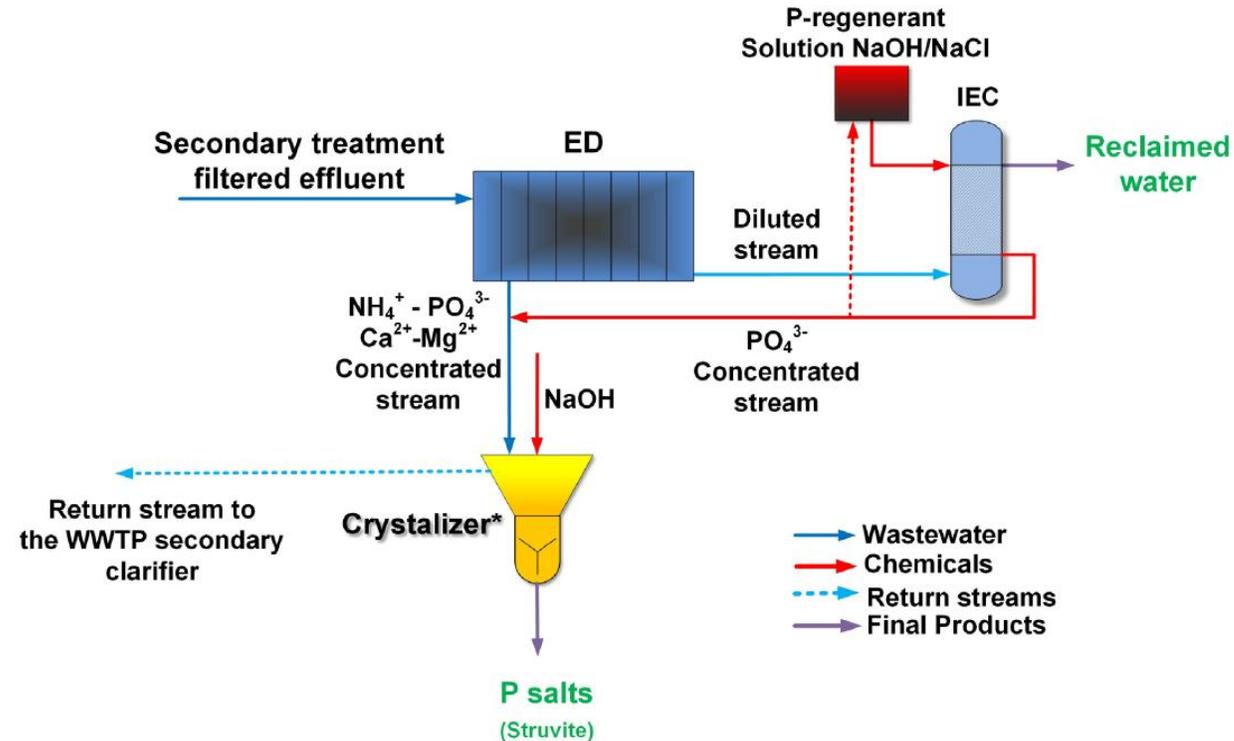


No se observa reducción significativa



Continuar el estudio a largo plazo

- **Aumentar el TRL de las tecnologías de electrodiálisis e intercambio iónico**
 - Solicitud de proyecto de prueba de concepto.



¡Gracias!



Cal
Agua



Unidad Mixta UV-UPV