



PhD dissertation by **Emma Company Masó**



## **Towards waste valorisation: phosphorous and potassium resource recovery for fertiliser production**

**Supervisors:** Dr Jesús Colprim (UdG), Dr Alba Ceballos-Escalera (UdG) and Dr Albert Magrí (Universitat de Barcelona)

**Jury members:** Dr Ana Soares (Cranfield University), Dr Federico Aulenta (Spienza Università di Roma) and Dr Albert Guisasola (Universitat Autònoma de Barcelona)

**Wednesday 1<sup>st</sup> July 2026, 10:00h, UdG Faculty of Sciences (“Aula Magna”)**

Carrer M<sup>a</sup> Aurèlia Capmany 69, Campus Montilivi, 17003 Girona



## Abstract

To preserve soil fertility, agriculture needs to return the nutrients removed with harvested crops to the soil. To date, this has been achieved by means of mineral fertilisers, obtained from non-renewable resources, or by applying livestock manure and/or sewage sludge. However, inadequate management of waste streams causes nutrient losses through volatilization or leaching, thereby contributing to the contamination of surface and groundwater bodies. To address this, a paradigm shift based on circular economy is needed to recover the nutrients contained in waste. Emma Company's doctoral thesis focuses on the recovery of phosphorus (P), potassium (K) and nitrogen (N) from pig manure and urban wastewater to produce struvite and K-struvite, two slow-release fertilizers. The work investigates precipitation as a nutrient recovery method and explores electrochemical precipitation which, unlike the former, does not require the addition of external chemical reagents.

The experimental work was initially conducted at the laboratories of the "Laboratory of Chemical and Environmental Engineering" (LEQUIA) of the University of Girona. Subsequently, validations were carried out in two pilot plants (one of chemical precipitation and another one of electrochemical precipitation) located in industrial facilities in Catalonia: a pig farm ("Mas Monellots") and the urban wastewater treatment plant of Terrassa (Barcelona). Altogether, these validations have the ultimate goal to demonstrate the transferability and operativity of precipitation processes under real conditions.

Main results obtained are:

- Demonstration of the feasibility of recovering K and P as K-struvite from pig slurry. From the denitrified effluent, 90% of K was recovered through the addition of external magnesium (Mg) and P sources. From the sludge fraction, nutrient recovery was enhanced up to 75% through an acidification pre-treatment using oxalic acid to mobilise insoluble nutrients while simultaneously blocking  $\text{Ca}^{2+}$  ions that interfere with struvite recovery.
- Development of electrochemical pH control systems capable of promoting nutrient precipitation without the addition of chemical reagents, achieving phosphorus recovery efficiencies above 90%.
- Optimisation of the electrochemical design by adjusting reactor configuration parameters and integrating electrochemical pH control and crystallisation into a single tubular electrocrystalliser. Nutrient recovery efficiency was improved up to 1.62 grams of dry matter per litre treated while energy consumption was reduced up to 0.12 kWh per kg of phosphorous recovered.
- Development of strategies to avoid anodic chloride oxidation during electrochemical precipitation processes in residual streams.

These results represent an important step towards effective wastewater valorisation and the sustainable production of the so-called "second-generation fertilisers", that contain valuable microorganisms for soils and crops. To sum up, the thesis demonstrates that nutrient recovery through precipitation technologies can contribute to reducing dependence on mineral resources, decreasing the environmental impact associated with waste management, and advancing towards more sustainable agricultural production and consumption models.

Main publication: Emma Company et al, Exploring the recovery of potassium-rich struvite after a nitrification-denitrification process in pig slurry treatment, Science of The Total Environment, 847, 2022, 157574, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157574>.

## Resum

L'agricultura necessita retornar al sòl els nutrients que s'extreuen amb les collites per mantenir-ne la fertilitat. Fins ara, això s'ha assolit per mitjà de fertilitzants minerals, que s'obtenen a partir de recursos no renovables, o bé aplicant dejeccions ramaderes i/o fangs de depuradora. Tanmateix, una gestió inadequada dels corrents residuals provoca pèrdues de nutrients per volatilització o lixiviació, tot contribuint a la contaminació de masses d'aigua superficials i subterrànies. Davant d'aquest escenari, cal un canvi de paradigma basat en l'economia circular per recuperar els nutrients presents als residus. La tesi doctoral d'Emma Company se centra en la recuperació de fòsfor (P), potassi (K) i nitrogen (N) dels purins de porc i de les aigües residuals urbanes per produir estruvita i K-estruvita, dos fertilitzants d'alliberació lenta. L'estudi investiga la precipitació química com a mètode de recuperació de nutrients i explora la precipitació electroquímica que, a diferència de la primera, no requereix l'addició de reactius químics externs.

El treball experimental es va iniciar als laboratoris del grup de recerca "Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental" (LEQUIA) de la Universitat de Girona. Posteriorment, es van fer validacions en dues plantes pilot (una de precipitació química i una altra de precipitació electroquímica) ubicades en instal·lacions industrials: una granja de porcs (Mas Monellots) i la depuradora urbana de Terrassa. Tot plegat, amb l'objectiu de demostrar la transferibilitat i operativitat dels processos de precipitació en condicions reals.

Els resultats principals són els següents:

- Demostració de la viabilitat de recuperar K i P en forma de K-estruvita dels purins de porc. A partir de l'efluent desnitrificat, mitjançant l'addició de fonts externes de magnesi (Mg) i P, es va assolir el 90% de recuperació de K. A partir del fang, mitjançant el pretractament d'acidificació amb àcid oxàlic per mobilitzar els nutrients insolubles del fang i alhora bloquejar els ions de  $\text{Ca}^{2+}$  que interfereixen en la recuperació d'estruvita, es van assolir eficiències de solubilització del fosfat del 75%.
- Desenvolupament de sistemes electroquímics de control del pH capaços d'afavorir la precipitació de nutrients sense necessitat d'afegir reactius químics. Es van aconseguir eficiències de recuperació de fòsfor superiors al 90%.
- Optimització del disseny electroquímic mitjançant l'ajust de paràmetres de disseny i integrant el control electroquímic del pH i la cristal·lització en un únic electro-cristal·litzador tubular. D'aquesta manera, es va millorar l'eficiència de recuperació de nutrients fins 1,62 grams de matèria seca per litre tractat i es va reduir el consum energètic del procés fins a un mínim de 0,12 kWh per kg de fòsfor recuperat.
- Desenvolupament d'estratègies per evitar l'oxidació anòdica del clorur durant la precipitació electroquímica en corrents residuals.

Aquests resultats constitueixen un pas important cap a la valorització eficaç de les aigües residuals i la producció sostenible dels anomenats "fertilitzants de segona generació", que contenen microorganismes beneficiosos pel sòl i els cultius. En definitiva, la tesi demostra que la recuperació de residus mitjançant la precipitació pot contribuir a reduir la dependència de recursos minerals, disminuir l'impacte ambiental associat a la gestió dels residus i avançar cap a models més sostenibles de consum i de producció agrícola.

Publicació principal: Emma Company et al, Exploring the recovery of potassium-rich struvite after a nitrification-denitrification process in pig slurry treatment, Science of The Total Environment, 847, 2022, 157574, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157574>.

## Resumen

La agricultura necesita devolver al suelo los nutrientes que se extraen con las cosechas para mantener su fertilidad. Hasta ahora, esto se ha logrado mediante fertilizantes minerales, que se obtienen a partir de recursos no renovables, o bien aplicando deyecciones ganaderas o lodos de depuradora. Sin embargo, una gestión inadecuada de los flujos residuales provoca pérdidas de nutrientes por volatilización o lixiviación, contribuyendo a la contaminación de masas de agua superficiales y subterráneas. Ante este escenario, se requiere un cambio de paradigma basado en la economía circular para recuperar los nutrientes presentes en los residuos. La tesis doctoral de Emma Company se focaliza en la recuperación de fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N) de los purines de cerdo y de las aguas residuales urbanas para producir estruvita y K-estruvita, dos fertilizantes de liberación lenta. El estudio investiga la precipitación química como método de recuperación de nutrientes y explora la precipitación electroquímica que, a diferencia de la primera, no precisa la adición de reactivos químicos externos.

El trabajo experimental se inició en los laboratorios del grupo de investigación “Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental” (LEQUIA) de la Universidad de Girona. Posteriormente, se realizaron validaciones en dos plantas piloto (una de precipitación química y otra de precipitación electroquímica) ubicadas en instalaciones industriales: una granja de cerdos (Mas Monellots) y la depuradora urbana de Terrassa (Barcelona). Todo ello, con el objetivo de demostrar la transferibilidad y operatividad de los procesos de precipitación en condiciones reales.

Los principales resultados obtenidos son:

- Demostración de la viabilidad de recuperar K y P en forma de K-estruvita de los purines de cerdo. A partir del efluente desnitrificado, mediante la adición de fuentes externas de magnesio (Mg) y P, se alcanzó el 90% de recuperación de K. A partir del lodo, mediante el pretratamiento de acidificación con ácido oxálico para movilizar los nutrientes insolubles del lodo y a la vez bloquear los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  que interfieren en la recuperación de estruvita, se lograron eficiencias de solubilización del fosfato del 75%.
- Desarrollo de sistemas electroquímicos de control del pH capaces de favorecer la precipitación de nutrientes sin necesidad de añadir reactivos químicos. Se consiguieron eficiencias de recuperación de fósforo superiores al 90%.
- Optimización del diseño electroquímico mediante el ajuste de parámetros de diseño e integrando el control electroquímico del pH y la cristalización en un único electro-cristalizador tubular. De este modo, se mejoró la eficiencia de recuperación de nutrientes hasta 1,62 gramos de materia seca por litro tratado y se redujo el consumo energético del proceso hasta un mínimo de 0,12 kWh por kg de fósforo recuperado.
- Desarrollo de estrategias para evitar la oxidación anódica del cloruro durante la precipitación electroquímica en corrientes residuales.

Estos resultados constituyen un paso importante hacia la valorización eficaz de las aguas residuales y la producción sostenible de los llamados “fertilizantes de segunda generación”, que contienen microorganismos beneficiosos para el suelo y los cultivos. En definitiva, la tesis demuestra que la recuperación de residuos mediante la precipitación puede contribuir a reducir la dependencia de recursos minerales, disminuir el impacto ambiental asociado a la gestión de los residuos, y avanzar hacia modelos más sostenibles de consumo y de producción agrícola.

Principal publicación: Emma Company et al, Exploring the recovery of potassium-rich struvite after a nitrification-denitrification process in pig slurry treatment, Science of The Total Environment, 847, 2022, 157574, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157574>.