



LIFE PHOS4EU – Recuperación de fósforo a partir de fangos de las EDARs

LIFE PHOS4EU – Phosphorus recovery from WWTP sludge

Aina Soler Jofra, M^a Mar Micó Reche, Alba López Buján
Departamento de Innovación del Negocio de Agua de ACCIONA
Innovation Department of the Water Business of ACCIONA

El proyecto LIFE PHOS4EU busca desarrollar y demostrar una solución para la recuperación de hasta un 65% del fósforo presente en las aguas residuales, con el objetivo de reutilizarlo posteriormente, y reducir la dependencia que tiene la Unión Europea de la importación de este mineral.

The LIFE PHOS4EU project seeks to develop and demonstrate a solution for the recovery of up to 65% of phosphorus in wastewater, with the aim of subsequently reusing it and reducing the European Union's dependence on imports of this mineral.

Palabras clave

ACCIONA, fósforo, vivianita, fangos, tratamiento de aguas residuales, fosfato de hierro, precipitación, recuperación

Keywords:

ACCIONA, phosphorus, vivianite, sludge, wastewater treatment, iron phosphate, precipitation, recovery

EL PROBLEMA DE LA ESCASEZ DE FÓSFORO EN EUROPA

El fósforo (P) es un elemento que juega un papel fundamental en la producción alimentaria y en la industria química. Este elemento es utilizado, sobre todo, como macronutriente en la formulación de fertilizantes y para alimentación animal. Dentro del sector industrial, se destina mayormente a la fabricación de detergentes y limpiadores, seguido por su uso en el tratamiento de metales, tratamiento del agua y en la composición de pastas dentales. Otros productos que albergan cantidades significativas de fósforo incluyen retardantes de llama, rellenos de extintores y baterías de litio.

THE PROBLEM OF PHOSPHORUS SCARCITY IN EUROPE

Phosphorus (P) plays a fundamental role in food production and in the chemical industry. It is mainly used as a macronutrient in fertiliser production and for animal feed. In the industrial sector, it is principally used in the manufacture of detergents and cleaners, and also in the treatment of metals and water as well as in the composition of toothpaste. Other products that contain significant amounts of phosphorus include flame retardants, fire extinguisher recharge agents and lithium batteries.



Al tratarse de un elemento tan empleado, a medida que la población mundial aumenta, la demanda de fósforo también lo hace. Sin embargo, este elemento se obtiene casi exclusivamente mediante la extracción de roca fosfórica, cuyas reservas son finitas. Además, estas reservas se encuentran principalmente en países del Norte de África y Oriente Medio, lo que hace que la Unión Europea tenga una fuerte dependencia de las importaciones de roca fosfórica.

La mencionada creciente demanda de fósforo, combinada con su agotamiento acelerado, destaca la urgencia de abordar en la obtención de fósforo alternativo bajo prácticas sostenibles.

TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE FÓSFORO EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Puesto que las reservas de fósforo son limitadas e irremplazables, y dado que Europa carece de una fuente interna de fósforo, urge buscar tecnologías innovadoras y sostenibles que ayuden a incrementar la disponibilidad de este elemento.

Las principales fuentes alternativas de obtención de fósforo serían aquellas con un alto contenido en este elemento. Entre ellas y en el ámbito del tratamiento de agua, destacan las aguas residuales y los lodos de depuradora. Desarrollar tecnologías que aprovechen o extraigan el fósforo de estas fuentes para su posterior reutilización es una solución muy prometedora. Sin embargo, hasta el momento los métodos disponibles actualmente para la recuperación o el aprovechamiento de fósforo en el sector presentan costes elevados y/o una eficacia limitada, lo que dificulta su aplicación práctica. A grandes rasgos los métodos actuales de recuperación se pueden clasificar según si el fósforo es recuperado de la corriente de agua o de los lodos:

RECUPERACIÓN DE FÓSFORO DE CORRIENTES ACUOSAS: ESTRUVITA E INTERCAMBIO IÓNICO

La precipitación de estruvita es un proceso utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales donde se promueve la reacción entre iones de fosfato, amonio y magnesio en condiciones específicas de pH y temperatura, permitiendo la recuperación eficiente de estos nutrientes en forma sólida. La estruvita precipitada se separa del agua residual, y una vez recuperada, puede ser utilizada como un valioso fertilizante, a su vez reduce la concentración de fósforo en la descarga y los posibles problemas operacionales derivados de su precipitación descontrolada. La principal limitación de la estruvita es que necesita que la eliminación biológica de fósforo (EBPR, siglas en inglés de Enhanced Biological Phosphorus Removal) este implantada en la depuradora y que haya digestión anaeróbica de los lodos, ya que el proceso de precipitación de estruvita

Because it is so widely used, the demand for phosphorus increases in line with global population growth. However, this element is obtained almost exclusively through the extraction of phosphate rock, the reserves of which are finite. Moreover, these reserves are found mainly in North African and Middle Eastern countries, meaning that the European Union is heavily dependent on phosphate rock imports.

The aforementioned growing demand for phosphorus, combined with its rapid depletion, highlights the urgency of addressing alternative phosphorus sourcing through sustainable practices.

EXISTING TECHNOLOGIES FOR PHOSPHORUS RECOVERY IN WATER TREATMENT SYSTEMS

Because phosphorus reserves are limited and irreplaceable, and given that Europe does not have internal phosphorus sources, there is an urgent need to seek innovative, sustainable technologies to enable increased availability of this element.

The main alternative sources of phosphorus are those with a high phosphorus content. In the field of water treatment, wastewater and sewage sludge stand out. Developing technologies to avail of or extract phosphorus from these sources for subsequent reuse is a solution with great promise. However, currently available methods for phosphorus recovery or utilization in the sector are costly and/or of limited efficiency, thereby hindering their application in practice. Current recovery methods can be broadly classified according to whether the phosphorus is recovered from the water stream or from the sludge:

PHOSPHORUS RECOVERY FROM AQUEOUS STREAMS: STRUVITE AND ION EXCHANGE

Struvite precipitation is a process used at wastewater treatment plants where the reaction between phosphate, ammonium and magnesium ions is promoted under specific pH and temperature conditions, allowing the efficient recovery of these nutrients in solid form. The precipitated struvite is separated from the wastewater, and once recovered, can be used as a valuable fertiliser, in turn reducing the phosphorus concentration in the discharge and the potential operational problems arising from its uncontrolled precipitation. The main limitation of struvite is that it requires the implementation of Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) at the WWTP and anaerobic digestion of the sludge, as the struvite precipitation process is commonly carried out in the sludge dewatering centrate from anaerobic digestion. It also requires the addition of magnesium, a chemical not normally implemented in WWTP operation. Moreover, the process to recover phosphorus

se realiza comúnmente en las aguas de la deshidratación de los lodos de la digestión anaerobia. Además, es dependiente de la adición de magnesio, un químico que no forma parte de la operación normal de las EDARs. Por otro lado, la eficiencia del proceso de recuperación de fósforo en forma de estruvita se encuentra tan solo entre el 10-50% del fósforo entrante en la EDAR.

El proceso de intercambio iónico para recuperar fósforo se basa en la capacidad de ciertos materiales tales como resinas, zeolitas o polímeros, para adsorber selectivamente los iones de fósforo de una solución liberando otras especies. La recuperación se consigue mediante la regeneración del material intercambiador que da como resultado una solución enriquecida en fósforo. La principal limitación de este enfoque es el OPEX asociado tanto a la resina como a las soluciones de regeneración. Además, durante la regeneración de las resinas, aparte del fósforo, se arrastran otros posibles aniones que hayan sido adsorbidos en las resinas y bajan su rendimiento. Finalmente, para poder reusar la solución de regeneración es necesario precipitar el fósforo de esta, añadiendo coste al proceso global.

RECUPERACIÓN DE FÓSFORO DE LODOS: USO DIRECTO Y RECUPERACIÓN DE CENIZAS DE LODOS INCINERADOS

La aplicación en suelo de lodos de depuradora se considera la opción más simple para reciclar fósforo y que se ha usado durante años. Sin embargo, su empleo directo en la agricultura presenta diversos desafíos, entre los que se encuentra el hecho de que los lodos de depuradora suelen tener un volumen significativo por su alto contenido en agua, lo que conlleva elevados costes de transporte. Por otro lado, los lodos contienen nutrientes beneficiosos para las plantas pero la biodisponibilidad de estos nutrientes es baja, mientras que además, los lodos de depuradora pueden contener impurezas no deseadas, como patógenos y metales pesados. Por último, el uso continuado de lodos de depuradora puede tener efectos a largo plazo en la calidad del suelo alterando su estructura y composición, lo que es especialmente problemático en áreas donde hay exceso de nitrógeno en el suelo, como en algunas regiones de Europa, ya que la aplicación directa de lodos de depuradora puede agravar este problema.

La recuperación de fósforo a partir de cenizas de lodos de depuradora incinerados es un proceso que busca aprovechar eficientemente los residuos generados durante la incineración de estos residuos, minimizando los problemas logísticos de la aplicación directa. Tras la incineración, las cenizas resultantes contienen fósforo en forma de fosfatos, y diversos métodos químicos o físicos se emplean para extraer y recuperar este fósforo. El producto final obtenido, puede ser transformado en fertilizantes o productos químicos. Si bien supone un enfo-

in the form of struvite has an efficiency rate of only between 10% and 50% of the phosphorus entering the WWTP.

The ion exchange phosphorus recovery process is based on the capacity of certain materials such as resins, zeolites or polymers to adsorb phosphorus ions selectively from a solution, releasing other species. Recovery is achieved by regeneration of the exchanger material resulting in a phosphorus-enriched solution. The main drawback of this approach are the operating costs associated with both the resin and the regeneration solutions. Furthermore, during the regeneration of the resins, apart from phosphorus, other possible anions that may have been adsorbed onto the resins are carried over and lower their performance. Finally, in order to reuse the regeneration solution, the phosphorus must be precipitated from it, thus increasing the cost of the overall process.

PHOSPHORUS RECOVERY FROM SLUDGE: DIRECT USE AND RECOVERY OF ASH FROM INCINERATED SLUDGE

Soil-application of sewage sludge is considered the simplest option for phosphorus recycling and has been used for years. However, direct use in agriculture entails a number of challenges, including the fact that sewage sludge is often bulky due to its high water content, resulting in high transport costs. Moreover, sludge contains beneficial nutrients for plants but the bioavailability of these nutrients is low, while sewage sludge may also contain unwanted impurities such as pathogens and heavy metals. Finally, continuous use of sewage sludge can have long-term effects on soil quality by altering its structure and composition. This is a particularly significant in areas with excess nitrogen in the soil, as is the case of some European regions, because the direct application of sewage sludge can aggravate this problem.

Phosphorus recovery from incinerated sewage sludge ash is a process that seeks to make efficient use of the waste generated during the incineration of this waste, minimising the logistical problems of direct application. After incineration, the resulting ash contains phosphorus in the form of phosphates, and various chemical or physical methods are used to extract and recover this phosphorus. The final product obtained can be transformed into fertilisers or chemicals. Although this approach has advantages in terms of waste management efficiency, the incineration process itself has significant environmental implications that hinder a more widespread implementation of this solution. In addition, the ash

que positivo de la eficiencia en la gestión de residuos, el proceso de incineración por sí mismo tiene importantes implicaciones medioambientales que lastran la expansión de esta solución. Además, las cenizas no solo contienen P, sino que la mayoría de los metales pesados, que no se deben incorporar en productos fertilizantes, quedan en las cenizas y son difíciles de separar.

LA RECUPERACIÓN DE FÓSFORO EN FORMA DE VIVIANITA: EL PROYECTO LIFE PHOS4EU

Debido a las limitaciones de las tecnologías actuales, surge el proyecto LIFE PHOS4EU, coordinado por la Autoridad del Agua del Delta de Brabante (WBD), y en el que ACCIONA participa junto con otras entidades neerlandesas dedicadas al tratamiento de aguas.

Se trata de un proyecto de demostración cuyo objetivo es el extraer fósforo de los lodos provenientes de plantas depuradoras. Para ello, se empleará la tecnología ViviMag™, una solución que se distingue por su enfoque sostenible y circular para la recuperación del fósforo en el contexto del tratamiento de agua residual. Mediante ViviMag™, se recupera el fósforo precipitándolo en forma de fosfato de hierro o vivianita, con un proceso que implica la reducción del hierro (III) a hierro (II) en condiciones anaeróbicas, específicamente en los digestores anaerobios, y la precipitación de éste con el fosfato formando vivianita, seguido de la recuperación del mineral de los lodos mediante un eficaz método de separación magnética. De esta manera ViviMag™ aprovecha dos procesos ya implementados en muchas de las EDARs actuales. Por un lado, la aplicación extendida de la digestión anaerobia en 24 países de la Unión Europea, que tiene como objetivo reducir el volumen de lodos en estas instalaciones y, además, las sales de hierro que son habitualmente usadas en la gran mayoría de EDARs europeas para la eliminación de fósforo. Así, se aprovechan las propiedades paramagnéticas de la vivianita generada en los digestores anaerobios para recuperar el fosfato de los lodos digeridos.

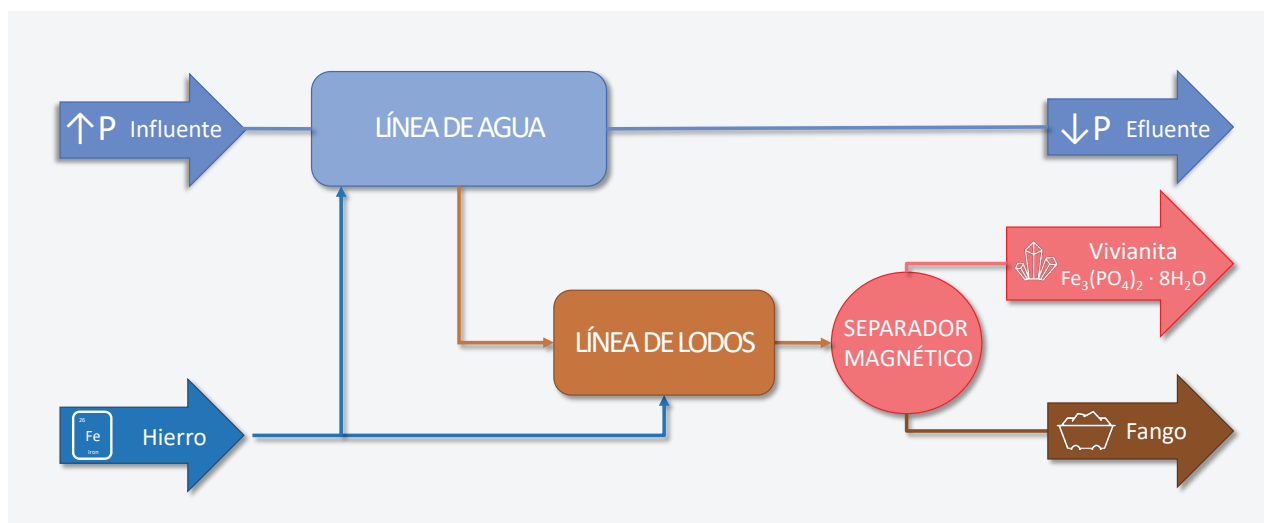
does not just contain P. Most of the heavy metals, which should not be incorporated into fertiliser products, remain in the ash and are difficult to separate.

PHOSPHORUS RECOVERY IN THE FORM OF VIVIANITE: THE LIFE PHOS4EU PROJECT

The limitations of current technologies have given rise to LIFE PHOS4EU, a project coordinated by the Brabant Delta Water Authority (WBD) and one in which ACCIONA is participating together with a number of Dutch water treatment entities.

This demonstration project seeks to extract phosphorus from sewage sludge from wastewater treatment plants through the implementation of ViviMag™ technology, a solution characterised by a sustainable, circular approach to phosphorus recovery in the context of wastewater treatment. With ViviMag™, phosphorus is recovered by precipitating it in the form of iron phosphate or vivianite, with a process involving the reduction of iron (III) to iron (II) in anaerobic conditions (anaerobic digesters) and the precipitation of this with the phosphate to form vivianite, followed by the recovery of the mineral from the sludge using an efficient magnetic separation method. Thus, ViviMag™ avails of two processes already implemented at many WWTPs today, i.e., anaerobic digestion, which is widely implemented in 24 EU countries to reduce the volume of sludge in these facilities, and the iron salts commonly used in the vast majority of European WWTPs for phosphorus removal. In this way, the paramagnetic properties of the vivianite generated in the anaerobic digesters are used to recover phosphate from the digested sludge.

This technology has the capacity to recover up to 80% of the vivianite in the sludge, accounting for approximately 60 to 65% of the total phosphorus in the WWTP inflow, in the form of a mineral product with a purity of up to 80% and 98 mg P/g of vivianite.



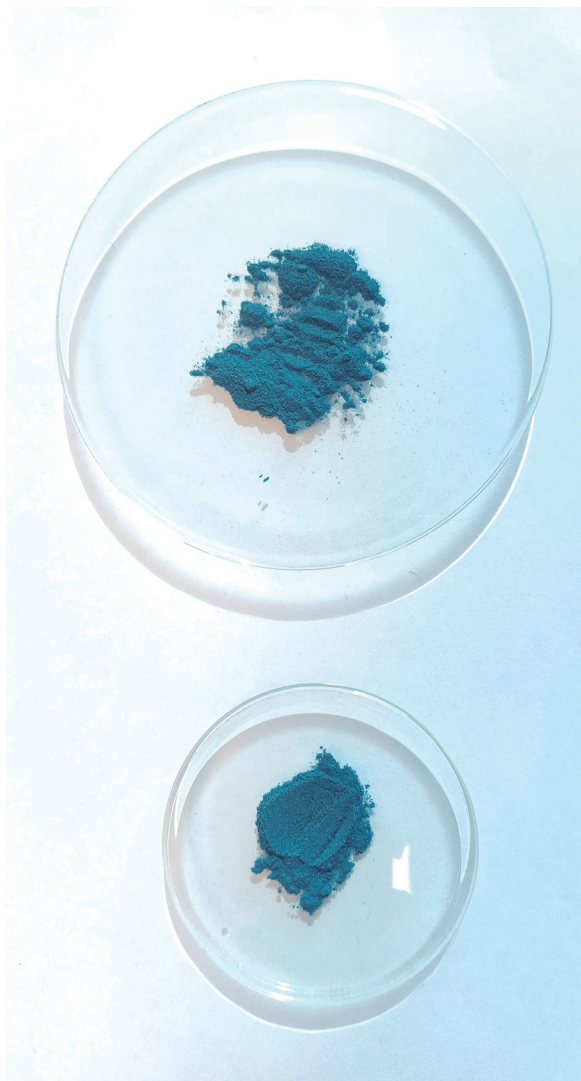
Muestra de vivianita recuperada con Vivimag™ por cortesía de Aquaminerals | Vivianite sample recovered with Vivimag™ courtesy of Aquaminerals.

Esta tecnología posee la capacidad de recuperar hasta un 80% de la vivianita presente en los lodos, representando aproximadamente el 60-65% del fósforo total contenido en el flujo entrante a la depuradora, con un producto mineral de hasta un 80% en pureza y 98 mg P/g de vivianita.

En el marco del proyecto PHOS4EU, que se estima tendrá una duración aproximada de cinco años, se replicará el proceso Vivimag™ a escala piloto en dos localizaciones: en una EDAR en Países Bajos y una EDAR gestionada por Aguas de Burgos y operada por Acciona. El objetivo principal es no solo demostrar la replicabilidad del proceso en distintas localizaciones con condiciones ambientales diversas, pero también definir la estrategia de mercado y comercialización del producto obtenido. Paralelamente durante el proyecto, y de forma complementaria a las actuaciones a nivel piloto, se prevé replicar la tecnología a escala real en una EDAR de Países Bajos.

La implementación de Vivimag™ de forma ágil en las EDARs actuales no solo promoverá la eficiencia en la recuperación de recursos, sino que también se alinea con los principios fundamentales de sostenibilidad y economía circular en el tratamiento de aguas residuales. Además, permitirá reducir la dependencia de la Unión Europea de la importación de fósforo y contribuirá a la economía circular.

LIFE PHOS4EU (LIFE22-ENV-NL-LIFE Phos4EU, nº proyecto 101113877) está cofinanciado por la Unión Europea. Los puntos de vista y las opiniones expresadas, sin embargo, pertenecen únicamente a los autores y no reflejan necesariamente las de la Unión Europea o la Agencia Ejecutiva Europea de Clima, Infraestructura y Medio Ambiente (CINEA). Ni la Unión Europea ni la autoridad otorgante pueden ser considerados responsables de ellos.



Within the framework of the PHOS4EU project, which is expected to continue for approximately five years, the Vivimag™ process will be replicated on a pilot scale in two locations: a WWTP in the Netherlands and a WWTP in Spain managed by Aguas de Burgos and operated by Acciona. The main objective is not only to demonstrate the replicability of the process in different locations with different environmental conditions, but also to define the marketing and commercialisation strategy for the product obtained. In parallel, and as a complement to the pilot actions, the technology will be replicated on a real-life scale at a WWTP in the Netherlands during the project.

The agile implementation of Vivimag™ at existing WWTPs will not only promote resource recovery efficiency, but also aligns with the fundamental principles of sustainability and circular economy in wastewater treatment. Moreover, it will reduce the EU's dependency on phosphorus imports and contribute to the circular economy.

LIFE PHOS4EU (LIFE22-ENV-NL-LIFE Phos4EU, project grant number 101113877) is co-funded by the European Union. The views and opinions expressed herein, however, are solely those of the authors and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be considered responsible for these views and opinions.