

LIFE CYCLOPS

Recuperación de polifenoles a partir de residuos de la industria del aceite de oliva

En países mediterráneos como España, la producción de aceite de oliva constituye una actividad industrial estratégica, no solo por su relevancia económica, sino también por su arraigo cultural y su impacto en el desarrollo rural. Esta industria, sin embargo, enfrenta importantes retos medioambientales derivados de la generación de grandes volúmenes de subproductos durante el proceso de extracción. Entre ellos, el alperujo representa el residuo más abundante y complejo de gestionar. Ante esta situación, resulta imprescindible avanzar en el desarrollo de tecnologías sostenibles que permitan su adecuada gestión y revalorización, convirtiendo el alperujo en una oportunidad para la economía circular.

En los últimos años, la industria oleícola se ha visto impulsada a evolucionar debido al incremento en la demanda de aceite de oliva y la necesidad de adaptar sus procesos a criterios de sostenibilidad y eficiencia. En este contexto, muchas almazaras han optado por sustituir el sistema tradicional de extracción en tres fases por el sistema de dos fases.

Este cambio responde a diversos motivos. En primer lugar, el sistema de dos fases permite reducir el uso de

LIFE CYCLOPS

Polyphenols recovery from olive oil industry waste

In Mediterranean countries like Spain, olive oil production is a strategic industrial activity, not only because of its economic importance, but also because of its cultural roots and impact on rural development. However, this industry faces significant environmental challenges due to the large volume of by-products generated during the extraction process. *Alperujo* is the most significant of these by-products and the most complex to manage. It is, therefore, essential to advance in the development of sustainable technologies to enable correct *lperujo* management and valorization, thus turning *alperujo* into a circular economy opportunity.

In recent years, the olive oil industry has had to evolve due to increased demand for olive oil and the need to make processes more sustainable and efficient. In this context, many mills have opted to replace the traditional three-phase extraction system with the two-phase system.

There are several reasons for this change. Firstly, the two-stage system makes it possible to reduce the use of additional water in the centrifuging process,

El proyecto LIFE CYCLOPS está implementando una tecnología circular para gestionar y revalorizar subproductos de la industria oleícola, especialmente polifenoles.

The LIFE CYCLOPS project is implementing a circular technology to manage and valorise by-products from the olive industry, particularly polyphenols.

agua adicional en el proceso de centrifugado, además de eliminar la producción de alpechín, un efluente líquido contaminante cuya gestión implica elevados costes ambientales y económicos. En lugar de generar dos subproductos líquidos (aceite y alpechín) y uno sólido (orujo), como ocurre en el sistema de tres fases, el sistema de dos fases produce únicamente aceite y un subproducto semisólido llamado alperujo, compuesto por orujo, agua de vegetación y restos sólidos de la aceituna.

Desde el punto de vista productivo, esta tecnología ofrece varias ventajas: reduce el consumo de agua, simplifica el tratamiento de residuos, disminuye el impacto ambiental del proceso y, en muchos casos, mejora el rendimiento global de la extracción. Además, se considera que puede preservar mejor algunos compuestos fenólicos del aceite, lo que incide positivamente en su calidad.

Actualmente, este residuo se lleva a orujeras, donde se acaba de extraer el aceite presente en el alperujo y se incinera para producir energía, lo que conlleva elevadas emisiones de CO₂ y otros gases. Además del impacto ambiental que conlleva la quema de alperujo, la gestión de este subproducto presenta un problema adicional: la capacidad de gestión de este residuo por parte de las orujeras está quedando limitada, generando la necesidad de almacenarlo temporalmente en balsas de secado repartidas por el territorio español. Esta solución provisional no está exenta de consecuencias ambientales: filtraciones y derrames, salinización del suelo, disminución del pH y creación de focos trampa para fauna silvestre, entre otros.

EL PROYECTO

Ante esta problemática, el proyecto LIFE CYCLOPS, cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea (LIFE21-ENV-ES-CYCLOPS 101074544), liderado por Cetaqua-Centro Tecnológico del Agua y con la participación de Borges Agricultura & Industrial Edible Oils (BAIEO), Unió Origen, Unió Nuts y el CSIC, apuesta por un enfoque innovador basado en la economía circular. Su objetivo es revalorizar estos subproductos que generan un impacto medioambiental negativo, mediante la recuperación de compuestos de alto valor añadido, como los polifenoles, compuestos presentes

in addition of eliminating the production of olive mill wastewater (OMW), a polluting liquid effluent whose management entails high environmental and economic costs. Instead of generating two liquid by-products (oil and OMW) and one solid by-product (pomace), as occurs in the three-phase system, the two-phase system produces only oil and a semi-solid by-product called *alperujo*, composed of pomace, vegetation water and solid olive waste.

From a production standpoint, this technology provides several benefits: it reduces water consumption, simplifies and lessens the environmental impact of the waste treatment process, and, in many cases, improves the overall efficiency of extraction. Moreover, it is believed to better preserve certain phenolic compounds in the oil, which has a positive effect on its quality.

Currently, this residue is taken to mills, where the oil present in the *alperujo* is extracted and incinerated to produce energy, which leads to high emissions of CO₂ and other gases. Apart from the environmental impact of burning *alperujo*, pomace mills have limited capacity to manage this waste. This makes it necessary to store the *alperujo* temporarily in drying beds spread throughout Spain, a temporary solution not without environmental consequences, which include: leaks and spills, soil salinisation, pH reduction, the creation of wildlife traps, among others.





naturalmente en plantas o alimentos de origen vegetal con propiedades antioxidantes y con efectos positivos para la salud, lo que les otorga un alto valor en sectores como el alimentario, farmacéutico y cosmético.

A principios de 2024, LIFE CYCLOPS dio un paso clave con la puesta en marcha de una planta piloto en las instalaciones de Capricho Andaluz, propiedad de Borges BAIEO, uno de los referentes del sector oleícola en España, situadas en Cabra (Córdoba). Allí se está implementando una solución tecnológica compuesta por tres etapas. La primera es una fase de extracción sólido-líquido, en la que el alperujo, recogido directamente de las tolvas de almacenamiento de la almazara de Capricho Andaluz, es tratado con agua como único disolvente, con el objetivo de solubilizar los polifenoles. A continuación, se lleva a cabo una etapa de separación de fases mediante centrifugación, que permite aislar la corriente acuosa que contiene estos compuestos de la fracción sólida restante. Por último, se aplica una etapa de purificación basada en un proceso secuencial de membranas, que incluye una fase de ultrafiltración, destinada a eliminar partículas disueltas y compuestos de elevado peso molecular, como los polisacáridos, y una fase de nanofiltración, encargada de concentrar y purificar el extracto polifenólico.

LA SOLUCIÓN LIFE CYCLOPS, UNA APUESTA POR EL RESIDUO CERO

Este diseño no solo maximiza la recuperación de polifenoles con un enfoque sostenible, sino que también ofrece una solución viable para la fracción sólida restante. El alperujo desfenolizado, libre de los compuestos que inhiben los procesos biológicos, se convierte en un sustrato óptimo para la codigestión anaerobia. Esta vía de valorización energética, hasta ahora limita-

THE PROJECT

The LIFE CYCLOPS project, co-financed by the European Union's LIFE programme (LIFE21-ENV-ES-CYCLOPS 101074544), aims to address this problem. Led by Cetaqua-Water Technology Centre and with the participation of Borges Agricultura & Industrial Edible Oils (Borges BAIEO), Unió Origen, Unió Nuts and the Spanish National Research Council (CSIC), the project is committed to an innovative circular economy-based approach. The goal is to recover high value-added compounds from these by-products, which generate a negative environmental impact. The compounds to be recovered include polyphenols, which are naturally present in plants or plant-based foods and have antioxidant properties and positive health effects, making them highly valuable in sectors such as food, pharmaceuticals and cosmetics.

LIFE CYCLOPS took a key step at the beginning of 2024 with the commissioning of a pilot plant at the Capricho Andaluz facilities in Cabra (Córdoba), owned by Borges BAIEO, a leader in the Spanish olive oil sector. A three-stage technological solution is being implemented at the pilot plant. The first is a solid-liquid extraction stage, in which the *alperujo*, collected directly from the storage hoppers of the Capricho Andaluz mill, is treated with water as the sole solvent in order to solubilise the polyphenols. This is followed by a phase separation stage via centrifugation, which isolates the aqueous stream containing the dissolved compounds from the remaining solid fraction. Finally, there is a purification stage based on a sequential membrane process. This stage includes an ultrafiltration step, to remove dissolved particles and compounds with high molecular weights such as polysaccharides, and a nanofiltration stage to concentrate and purify the polyphenolic extract.



da por la presencia de polifenoles, cuyas propiedades antimicrobianas dificultaban el proceso metanogénico, permite cerrar el círculo y avanzar hacia el objetivo de residuo cero. De este modo, LIFE CYCLOPS no solo recupera valor en forma de compuestos bioactivos, sino que también propone una salida energética y agronómica para el residuo tratado, generando biogás y fertilizante orgánico.

Dentro del consorcio del proyecto, el CSIC se encarga de la caracterización analítica tanto del alperujo como de los extractos generados, evaluando su contenido en polifenoles y otros compuestos de interés. Esta labor se complementa con procesos avanzados de purificación, que permiten aislar fracciones específicas con potencial aplicación en sectores como la cosmética, la nutracéutica o la industria farmacéutica. Además, mediante reacciones enzimáticas como la glucosilación y la acilación, se modifican las estructuras de los compuestos purificados para mejorar su estabilidad y funcionalidad según el uso final previsto.

Con una duración estimada de tres años, el proyecto está demostrando su viabilidad técnica y ambiental a escala piloto. Aunque actualmente se opera a menor escala, el objetivo final es poder tratar la totalidad del alperujo generado por la almazara Capricho Andaluz, que asciende a unas 12.000 toneladas anuales. La implementación a escala industrial permitirá transformar completamente este subproducto en recursos de alto valor añadido, mejorando la eficiencia del proceso y promoviendo un modelo de economía circular en el sector oleícola.

En etapas posteriores, se explorará la replicabilidad del modelo en otros residuos agroindustriales, como los procedentes de la industria vitivinícola. Para ello, se prevé trasladar la planta piloto a la bodega de Vilalba dels Arcs, propiedad de Unió Origen, y adaptar el proceso a subproductos específicos como el hollejo de la uva o las lías de fermentación. LIFE CYCLOPS se presenta así como una propuesta innovadora y sostenible que contribuye a la transición ecológica del sector agroalimentario y a la valorización integral de sus residuos. 🌱

*LIFE CYCLOPS demostrará
el potencial de la tecnología
implementada para ser escalada y
replicada en otras industrias como la
vinícola.*

THE LIFE CYCLOPS SOLUTION – COMMITTED TO ZERO WASTE

This design not only maximises sustainable polyphenols recovery, but also offers a viable solution for the remaining solid fraction. The dephenolised *alperujo*, free of compounds that inhibit biological processes, becomes an optimal substrate for anaerobic co-digestion. This energy recovery route, hitherto limited by the presence of polyphenols, whose antimicrobial properties hinder methanogenesis, makes it possible to close the circle and move towards the goal of zero waste. Thus, LIFE CYCLOPS not only recovers value in the form of bioactive compounds, but also enables the treated waste to be used for energy and agronomic purposes through the generation of biogas and organic fertiliser.

Within the project consortium, the CSIC is responsible for the analytical characterisation of the *alperujo* and the extracts generated, calculating the polyphenols content and that of other compounds of interest. This work is complemented by advanced purification processes that enable the isolation of specific fractions with potential applications in sectors such as cosmetics, nutraceuticals and the pharmaceutical industry. Additionally, enzymatic reactions such as glycosylation and acylation are implemented to modify the structures of the purified compounds, enhancing their stability and functionality in accordance with the intended end use.

With an estimated duration of three years, the technical and environmental viability of this project is being demonstrated on a pilot scale. Although currently operating on a smaller scale, the ultimate goal is to be able to treat all the *alperujo* generated at the Capricho Andaluz mill, around 12,000 tonnes per year. Implementation on an industrial scale will allow this by-product to be completely transformed into high value-added resources, thus enhancing efficiency of the process and promoting a circular economy model in the olive sector.

In subsequent project stages, the replicability of the model will be assessed for other agro-industrial waste, such as residue from the wine industry. For this purpose, it is envisaged that the pilot plant will be transferred to the Vilalba dels Arcs winery, owned by Unió Origen. Here, the process will be adapted for specific by-products such as grape skins and fermentation lees. LIFE CYCLOPS, therefore, constitutes an innovative and sustainable proposal that contributes to the ecological transition of the agri-food sector through full recovery of waste. 🌱

*LIFE CYCLOPS will demonstrate
the potential of the implemented
technology to be scaled up and
replicated in other industries such as
the wine industry.*



**Cofinanciado por
la Unión Europea**