

AGUA REGENERADA: EL FUTURO DE LA AGRICULTURA

Dos investigaciones del CIESOL en el marco del PLAnd Sequía de la Junta buscan hacer más eficientes los procesos de regeneración de aguas para solucionar el déficit hídrico sistémico de Almería y Andalucía y aportar valor a los cultivos agrícolas.

MIGUEL BLANCO
FOTOS: VV.AA.

La provincia de Almería continúa buscando vías para atenuar el déficit hídrico sistémico que sufre. La desalación es uno de las técnicas más desarrolladas, pero, poco a poco, se va abriendo paso la regeneración de aguas residuales. En este ámbito, juega un papel de relevancia el Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL) de la Universidad de Almería, con dos nuevas investigaciones que está desarrollando, en el marco del PLAnd Sequía.

Con esta iniciativa, la Junta de Andalucía busca identificar, recopilar, analizar y transferir proyectos y soluciones que apliquen la tecnología a la mejora del aprovechamiento de los recursos hídricos. Y una de las soluciones más eficaces y sostenible es la reutilización de efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). Pero para poder utilizarla para riego, el agua regenerada debe cumplir la última normativa de la Unión Europea en esta materia, un reglamento que establece los requisitos mínimos para poder reutilizar las aguas de los efluentes de las EDAR.

Con este punto de partida, los proyectos que está desarrollando el CIESOL dentro del PLAnd Sequía son Innovación en la regeneración de aguas mediante cloro-foto-Fenton solar a escala demostrativa (INACUA), que investiga cómo hacer más eficiente el proceso de regeneración mediante el proceso fo-

to-Fenton solar, técnica que han implementado y mejorado en anteriores investigaciones y en la que ahora quieren ir un paso más allá; y Desarrollo y demostración de procesos sostenibles de regeneración de aguas residuales utilizando microorganismos fotosintéticos (RE-USE), que también busca mejorar el rendimiento de técnicas ya probadas, en este caso el de la regeneración de aguas mediante microalgas.

AGUAS REGENERADAS PARA REGAR CULTIVOS

El primero de estos proyectos, INACUA, dirigido por los investigadores José Luis Casas y Paula Soriano, está enfocado a la regeneración de aguas residuales para que se puedan utilizar para el riego de cultivos. Para ello, en INACUA están probando una nueva forma de aplicar el proceso de foto-Fenton solar, a pH neutro, para lo que se añade al agua, de forma simultánea, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, este último de gran poder bactericida. De esta manera, se evitaría la formación de subproductos derivados de la desinfección y se eliminarían los microcontaminantes. Además, se llevaría a cabo en menos tiempo que el conseguido con otros procesos solares de regeneración de agua. El proyecto INACUA se está desarrollando desde octubre de 2024, con previsión de finalización en septiembre de 2026. Los trabajos se están realizando en la misma sede del CIESOL, en la Universidad de Almería, así como en la EDAR El Bobar de la capital.

En esta investigación se parte de seis objetivos. El primero es llevar a cabo un estudio fenomenológico del proceso cloro-foto-Fenton solar a escala piloto. El segundo, realizar una evaluación de la viabilidad operacional del proceso a escala demostrativa. También se plantea hacer una modelización mecánica del proceso.

El cuarto objetivo es diseñar una estrategia de control que permita optimizar la operación en flujo continuo. Asimismo, se está implementando una estrategia de control a escala demostrativa. Por último, el proyecto cuenta con realizar una evaluación de la viabilidad económica del proceso desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental. A partir de ahí, el equipo liderado por José Luis Casas, director también del CIESOL, y Paula Soriano está investigando si la combinación de peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio, dos potentes oxidantes, acaba con las bacterias; mientras que el foto-Fenton solar elimina los microcontaminantes que resultan de este proceso químico de desinfección. Esto es lo que haría que el proceso fuese mucho más eficiente y sostenible y, como resultado, se lograría un agua regenerada que sí podría ser utilizada para el riego en agricultura. Lo haría, además, reduciendo costes y el riesgo para el medio ambiente. En el CIESOL ya han trabajado previamente con este sistema combinado de cloro-foto-Fenton solar, tanto en laboratorio como en una planta piloto, utilizando aguas residua-



A la izquierda, investigadoras del proyecto RE-USE. Sobre estas líneas, equipo del CIESOL que desarrolla el proyecto INACUA e instalaciones para esta investigación en la EDAR El Bobar.

En la página anterior, planta del proyecto RE-USE.

les procedentes de una EDAR. Falta confirmar, que es lo que busca el proyecto INACUA, que el proceso es viable y sostenible a escala demostrativa en un entorno real.

Esta investigación cuenta además con generar un impacto socioeconómico por tres vías. Por una parte, se pretende incrementar la cantidad y calidad del agua regenerada para promover su uso. En este sentido, los investigadores consideran que este sistema de desinfección y descontaminación de los efluentes de las EDAR se va a ver confirmado como el método idóneo para que la agricultura cuente con más agua para riego. Y lo hará pudiendo ofrecer a las empresas del sector una tecnología ya desarrollada.

Por otra parte, se busca disminuir el coste que supone el tratamiento de aguas residuales mediante un proceso energéticamente eficiente. Y por último, están trabajando para conseguir información socioeconómica, ambiental y técnica con la que fomentar la reutilización de aguas residuales.

AGUA Y BIOMASA PARA LA AGRICULTURA

El proyecto RE-USE también se centra en las aguas de las EDAR, pero desde otro punto de vista. En este caso, se utilizan microalgas para la depuración, con el objetivo de recuperar nutrientes en forma de biomasa que se pueda utilizar como bioestimulante o biofertilizante en los cultivos, mientras que el agua regenerada se puede utilizar como agua de riego en invernaderos. Es decir, todo

el proceso será sostenible, sin uso de disolventes ni generación de residuos.

En este proyecto, el investigador principal es Tomás Lafarga. La investigación arrancó en junio de 2024 y está previsto que finalice en junio de 2026. RE-USE parte de la idea de que el tratamiento de aguas residuales utilizando microalgas supone un cambio fundamental, al centrarse en la recuperación de los nutrientes que hay en el agua. Asimismo, los sistemas basados en microalgas aportan otras ventajas. Una es el menor consumo energético necesario para desarrollarlo, porque las microalgas utilizan la luz solar para realizar la fotosíntesis. Además, se captura CO₂ y se recuperan nutrientes con los que se produce la biomasa.

El objetivo general del proyecto es mejorar el rendimiento de los procesos de tratamiento de aguas residuales basados en microalgas, ya que en la actualidad no llegan su óptimo teórico. Para ello, se trabaja en la optimización del diseño y la operación de los fotobiorreactores, así como en la valorización integral de los productos que se obtienen en el proceso.

En esta línea, el proyecto está implementando una serie de estrategias simultáneas para superar las limitaciones actuales de los fotobiorreactores abiertos tipo *raceway*, como su baja productividad y la gran superficie de terreno que se necesita para ponerlos en marcha.

El proyecto RE-USE tiene, así, cinco objeti-

vos específicos. El primero es identificar las cepas de microalgas y cianobacterias más robustas y eficientes para la recuperación de nutrientes a partir de aguas residuales. Otro es mejorar el diseño y operación de los reactores para maximizar la productividad de biomasa y la recuperación de nutrientes, con el objetivo de aumentar la productividad en un 20%.

Asimismo, se busca desarrollar productos a partir de la biomasa, como bioestimulantes que sean de interés agrícola y encontrar aplicaciones para el agua regenerada. Otro objetivo es validar los procesos de forma estable en un reactor de 120 metros cuadrados, alimentado exclusivamente por energías renovables. Por último, se difundirán los resultados y se buscará concienciar a la sociedad sobre la escasez hídrica y la regeneración de aguas.

El proyecto se está desarrollando en dos fases. Así, el primer año ha estado centrado en la optimización de las etapas biológicas y de ingeniería, ya que, por ejemplo, los fotobiorreactores que se vienen utilizando apenas se han modificado desde los años 50. Y en el segundo año, se está dedicando a la valorización de productos y la validación a gran escala. En este sentido, se cuenta con que el éxito del proyecto derive en la creación de biorrefinerías sostenibles a mediana y gran escala, lo que facilitaría la creación de nuevos empleos y serviría para diversificar la economía local. ■

JOSÉ LUIS CASAS / PAULA SORIANO

Directores de INACUA

«La utilidad de estas aguas regeneradas será especialmente relevante en Almería»

¿Qué estáis investigando en el proyecto INACUA?

En el proyecto INACUA se investiga una tecnología innovadora para regenerar aguas residuales y reutilizarlas en el riego agrícola. Esta investigación resulta especialmente relevante ante la creciente presión sobre los recursos hídricos de la región, donde la disponibilidad de agua es limitada. La propuesta combina el proceso foto-Fenton solar con el hipoclorito de sodio, aprovechando la capacidad del foto-Fenton para eliminar microcontaminantes y el fuerte efecto desinfectante del cloro. Esta estrategia, llamada cloro-foto-Fenton, busca reducir el tiempo de tratamiento y evitar la formación de subproductos tóxicos clorados.

¿Cuáles son los objetivos principales de este proyecto?

El proyecto INACUA tiene como objetivo principal demostrar que el proceso cloro-foto-Fenton solar es una alternativa viable, eficiente y sostenible para regenerar aguas residuales, cumpliendo con la nueva normativa sobre reutilización de agua a nivel europeo. El proyecto se centra en estudiar el proceso a escala demostrativa, evaluando su rendimiento y su viabilidad tecno-económica con vistas a su futura aplicación comercial. Con este fin, se están abordando una serie de objetivos, entre los que se incluyen el estudio del comportamiento del proceso cloro-foto-Fenton solar, la validación de su operación en reactores a escala demostrativa y el desarrollo de modelos mecanísticos que permitan describir y predecir su rendimiento. Otro objetivo clave es diseñar e implementar una estrategia de control que optimice la operación en flujo continuo, mejorando la eficiencia y estabilidad del proceso. Finalmente, el proyecto contempla un análisis económico integral enfocado a evaluar su sostenibilidad ambiental.

¿Hay algún resultado que ya se pueda avanzar?

Entre los resultados obtenidos, destaca el desarrollo de un modelo mecanístico del pro-



ceso cloro-foto-Fenton solar. Este modelo se adapta a las variaciones de composición del effluente de depuradora. A partir de este modelo, se ha optimizado la operación del proceso para lograr la máxima capacidad de tratamiento con el menor consumo de reactivos, reduciendo así los costes de operación. Asimismo, se ha automatizado la planta de cloro-foto-Fenton, con una superficie de 37 metros cuadrados, donde se llevarán a cabo los ensayos de validación y control a escala demostrativa. Como resultado del trabajo desarrollado, se ha publicado un artículo en una revista científica de alto factor de impacto y se han presentado varias comunicaciones en congresos nacionales e internacionales.

¿Qué utilidad tendrán las aguas regeneradas en Almería y Andalucía en un futuro próximo?

Andalucía se ha convertido en una de las regiones más afectadas por la sequía y la escasez de agua. En este contexto de creciente estrés hídrico, la regeneración y reutilización de las aguas residuales surge como una alternativa clave, ya que permite disponer de agua de calidad para uso agrícola, aliviar la presión sobre las fuentes convencionales y favorecer la recarga de acuíferos. La utilidad de estas aguas regeneradas será especialmente relevante en Almería, donde asegurar el abastecimiento hídrico es fundamental para mantener la productividad agraria y la posición líder de Andalucía en exportaciones alimentarias. Además, Almería es una de las provincias con mayor radiación solar de Europa, lo que la convierte en un entorno ideal para aplicar tecnologías de oxidación avanzada basadas en la energía solar, como el proceso cloro-foto-Fenton. Esta disponibilidad solar aporta ventajas como la reducción de los costes energéticos y la disminución de la huella ambiental del proceso.

TOMÁS LAFARGA / Director de RE·USE

«La utilización de microalgas para la regeneración de aguas residuales supone un cambio radical»

¿En qué consiste el proyecto RE·USE?

El proyecto RE·USE consiste fundamentalmente en un cambio de paradigma para afrontar el déficit hídrico en Andalucía, transformando las plantas de tratamiento de aguas residuales de ser consumidoras de recursos a ser productoras de bienes y servicios como agua depurada y biomasa. Logramos esto al mejorar el rendimiento de los sistemas de depuración basados en microalgas, que aprovechan la energía solar para recuperar los nutrientes presentes en el agua. La innovación clave se centra en optimizar el diseño y la operación de los fotobiorreactores, mejorando la turbulencia y los sistemas de automatización, con el objetivo de aumentar la productividad de biomasa microalgal y reducir drásticamente los costes de producción. Finalmente, se espera que el agua regenerada sea válida para su uso en riego y que la biomasa producida sea apta para uso en aplicaciones agrícolas, especialmente como bioestimulantes. El proyecto utilizará únicamente procesos sostenibles y libres de disolventes.

¿Cuáles son los objetivos principales del proyecto?

Este tipo de procesos ya se están aplicando a una escala comercial. El tratamiento de aguas residuales utilizando microalgas ya es una realidad. En este proyecto buscamos mejorar el rendimiento de los sistemas de depuración actuales. Principalmente, mediante una mejora del diseño y la operación de los fotobiorreactores. El objetivo es no solo aumentar la eficiencia del proceso, sino también reducir los costes. Paralelamente, nos proponemos regenerar el agua residual y validarla para riego en invernaderos comerciales. Por otro lado, valorizar la biomasa microalgal generada transformándola en bioestimulantes y biofertilizantes agrícolas mediante procesos sostenibles. Un objetivo clave es au-



mentar la concienciación de la sociedad sobre lo que supone la depuración de aguas residuales y el papel que juegan las microalgas en el medio ambiente.

¿En qué estado se encuentra la investigación?

La investigación se encuentra en una etapa muy avanzada, concretamente en la validación del proceso productivo a una escala piloto. En este momento estamos probando los diseños optimizados y los nuevos sistemas de automatización en un entorno real. Estamos obteniendo datos muy pro-

metedores, que nos permiten avanzar con confianza hacia nuestro objetivo de aumentar la productividad de biomasa microalgal. Estamos confirmando con éxito la calidad del agua regenerada para el riego en invernaderos comerciales. Por último, estamos comenzando a producir bioestimulantes a partir de las algas producidas, todo ello a una escala piloto. Hemos realizado algunos ensayos a escala de laboratorio y hemos observado que es posible obtener productos agrícolas prometedores a partir de la biomasa producida en el agua residual.

¿De qué manera ayuda la utilización de microalgas a la regeneración de aguas residuales?

La utilización de microalgas para la regeneración de aguas residuales supone un cambio radical del proceso. A diferencia de las depuradoras convencionales que consumen energía para eliminar contaminantes, las microalgas se enfocan en recuperarlos y usan para ello la energía del sol. Hacen la fotosíntesis, como las plantas. Utilizan la energía solar para crecer y, durante este crecimiento, absorben nutrientes clave como el nitrógeno y el fósforo directamente del agua residual, actuando como un sistema de depuración biológico y natural. Además, al realizar la fotosíntesis, consumen el dióxido de carbono que generaría el agua residual y, como subproducto, liberan oxígeno que puede ser aprovechado por las bacterias que también ayudan a degradar la materia orgánica, todo con un mínimo consumo energético. El resultado es triple: se obtiene agua regenerada, se eliminan los contaminantes sin grandes aportes químicos o energéticos, y se produce una biomasa microalgal que es un subproducto valioso.