Innovación Anual del Agua

VOL. 02

Marzo 2026

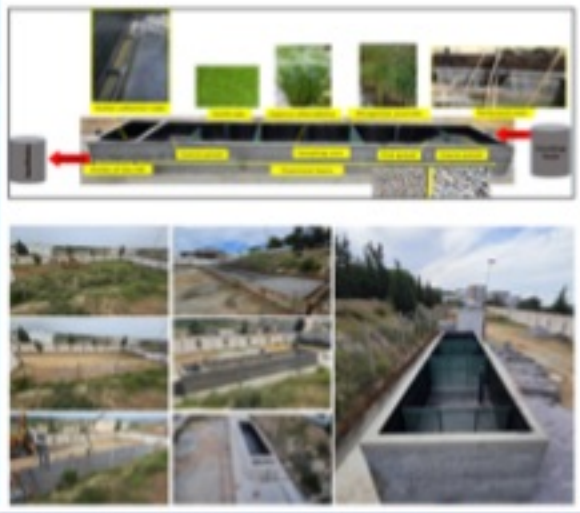
CIRQUA - BOLETÍN INFORMATIVO

4 Plantas Piloto | 4 Países | 140 m² de Superficia HA | Eliminación de Patógenos

Prototipo de HA de DUTH



Prototipo de HA de ABC



Prototipo de HA de CIMAR



Prototipo de HA de ASU



Figura 1: Las cuatro plantas piloto de humedales artificiales (HA) de CIRQUA en la región del Mediterráneo.

Futuros Conscientes del Agua: Enfoques Integrados a Escala Local para Mejorar la Eficiencia en la Reutilización del Agua y la Fertilización Sostenible del Suelo a partir de Nutrientes Recuperados de Aguas Residuales

Nuestras Cuatro Plantas Piloto:
CIRQUA ha diseñado, construido y actualmente opera cuatro sistemas de demostración de humedales artificiales (HA) en Grecia, Túnez, Portugal y Egipto. Cada uno de ellos integra humedales de flujo subterráneo horizontal con unidades de nanofiltración y módulos fotocatalíticos.

Acerca de CIRQUA: El proyecto CIRQUA (Enfoques Integrados a Escala Local para Mejorar la Eficiencia en la Reutilización del Agua y la Fertilización Sostenible del Suelo a partir de Nutrientes Recuperados de Aguas Residuales) es una iniciativa financiada por el programa PRIMA. Su objetivo es desarrollar soluciones descentralizadas basadas en la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales en la región del Mediterráneo. A través de prototipos innovadores de HA mejorados con unidades de nanofiltración y módulos fotocatalíticos, CIRQUA demuestra que las aguas residuales tratadas pueden reutilizarse de forma segura en la agricultura, al mismo tiempo que se recuperan nutrientes para la fertilización del suelo.

CIRQUA Waterwise Futures

PRIMA PARTNERSHIP FOR RESEARCH AND INNOVATION IN THE MEDITERRANEAN AREA

This project is part of the PRIMA programme supported by the European Union

PERFILES DE LAS PLANTAS PILOTO

❶ Planta Piloto DUTH - Xanthi, Grecia

Universidad Demócrito de Tracia•20m2

Humedal artificial de flujo subterráneo horizontal, completamente automatizado mediante PLC, con cuatro compartimentos de acero inoxidable plantados con Typha y Caltha. Equipado con un nanofiltro y un módulo fotocatalítico (tubos de vidrio revestidos de TiO2). Se logró la eliminación completa de enterococos y coliformes, una alta reducción de ADN residual y la eliminación total de la toxicidad en el pez cebra.

❷ Planta Piloto ABC - Sidi Thabet, Túnez

Higher Institute of Biotechnology • *20 m²*

Humedal artificial construido sobre una base de hormigón con Phragmites australis, Cyperus alternifolius y especies de Azolla. Cuenta con un filtro de arena con material de nanofiltración y un módulo fotocatalítico de 400 L. Eliminación casi completa de patógenos; erradicación de Vibrio cholerae. Gestionado por una Unidad Inteligente de Control Industrial (SICU-1) basada en Raspberry Pi y Arduino.

❸ Planta Piloto CIIMAR - Ponte de Lima, Portugal

PaçodeCalheiros•40 *m²*

Modernización de un humedal artificial por gravedad ya existente (con 15 años de funcionamiento y cero consumo energético). Cuenta con Canna flaccida, Zantedeschia aethiopica y C. indica. CIRQUA añadió un nanofiltro basado en MOF (estructuras metal-orgánicas) y un módulo fotocatalítico. Automatizado mediante PLC con interfaz HMI. Las pruebas de ecotoxicidad confirmaron una reducción significativa de la toxicidad.

❹ Planta Piloto ASU - Giza, Egipto

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Zenin• *60 m² (3 celdas × 20)*

El sitio piloto más grande de CIRQUA: tres celdas paralelas de humedales artificiales (10•2 m) con sustratos de grava graduada. Cuenta con una unidad de nanofiltro, un módulo fotocatalítico UV y automatización mediante PLC. Mayor reducción de quistes de protozoos (Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba)

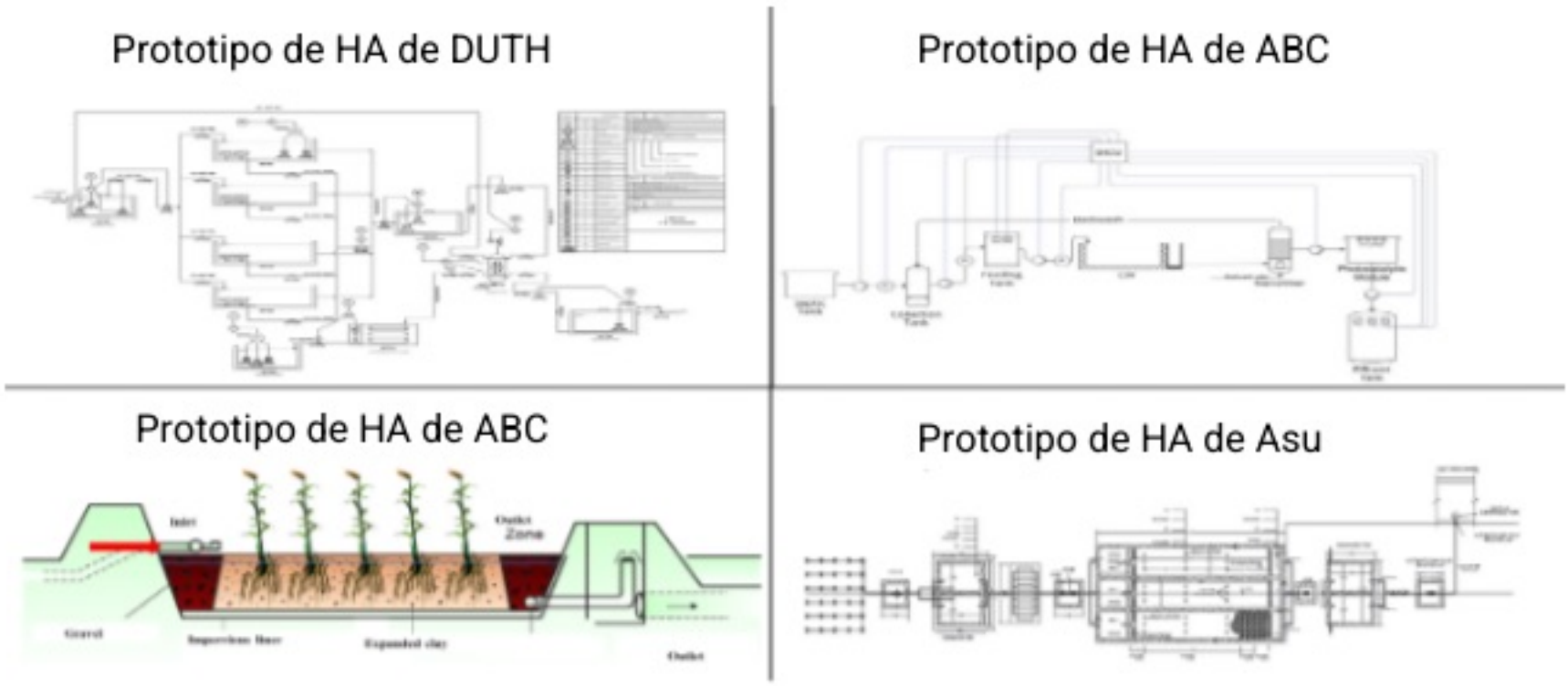


Figure 2: Automation system designs for all four CIRQUA CW prototypes.

RESULTADOS CLAVE E INNOVACIONES

Aspectos Destacados del Rendimiento del Tratamiento

Parámetero	Rendimiento	Importnacia
Eliminación de Ortofosfatos	**Hasta un 99%**	Alto rendimiento para prototipos de HA
Metales Pesados	**Por debajo de la Directiva de la UE**	Cumple con la Directiva de Agua Potable 2020/2184
Eliminación de Patógenos	**Casi complete eliminación de patógenos**	Por debajo de los límites umbral nacionales para la reutilización del agua.
Reducción de ADN Residual	**Reducción de varios órdenes de magnitud**	Disminución notable en los niveles de ADN.
Microcontaminantes	**Eliminación efectiva**	Incluye pesticidas y antibióticos.
Toxicidad en Pez Cebra	**Sin efectos negativos**	Evaluado desde el agua de entrada hasta el efluente

Unidades Avanzadas de Nanofiltración:
Cada planta piloto integra un nanofiltro cargado con compuestos de estructuras metal-orgánicas (MOFCs). Sintetizados a partir de biocarbón, arcilla de bentonita y alginato de calcio, estos materiales reducen eficazmente los sólidos en suspensión, los ortofosfatos, el fósforo total y los metales pesados

Módulos Fotocatalíticos
La etapa final del tratamiento emplea módulos fotocatalíticos basados en TiO2 bajo irradiación UV. Estos módulos reducen el ADN residual, eliminan patógenos y remueven microcontaminantes —incluyendo pesticidas y antibióticos— garantizando que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad para su reutilización agrícola.

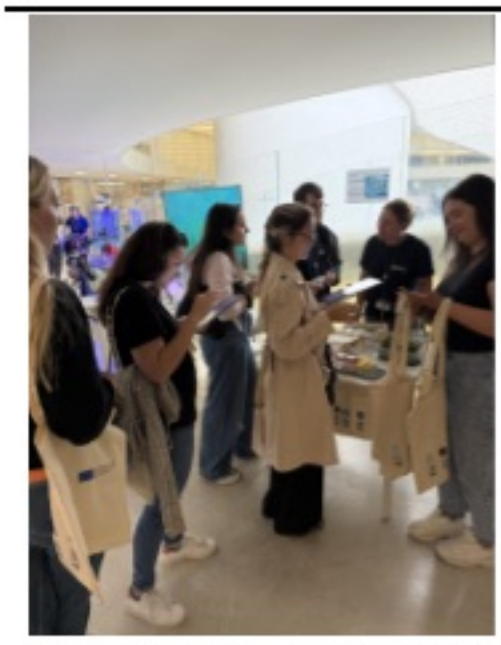
Automatización Inteligente y Economía Circular:
Todos las plantas piloto cuentan con monitoreo en tiempo real de pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y caudal a través de PLCs o Unidades Inteligentes de Control Industrial personalizadas, lo que permite la operación remota y la optimización de los procesos. Más allá del tratamiento del agua, CIRQUA explora el uso de los compuestos MOF como fertilizantes nanoestructurados con capacidad de liberación lenta de nutrientes. Las pruebas de ecotoxicidad con Daphnia magna, Danio rerio (pez cebra) y diversas plantas confirmaron la biocompatibilidad del agua tratada para una reutilización agrícola segura.

Aspectos Destacados del Proyecto y Eventos

CIRQUA ha estado lleno de actividad, fomentando la colaboración y compartiendo conocimientos en todo el Mediterráneo.

Fuerte presencia de CIRQUA en la Conferencia Agrown: Miembros del consorcio CIRQUA lideraron un debate fundamental en la Conferencia Agrown, centrándose en el tema de gran relevancia: "Reutilización del agua y agricultura de precisión".







Promoting Sustainable Water Management: The event allowed for meaningful engagement with the community, proving once again that public involvement is key to a sustainable future.

CIRQUA se vuelve global: Nuestra compañera de equipo, Cristina Calheiros, viajó a Maputo, Mozambique, para llevar el mensaje del proyecto CIRQUA a los estudiantes del Lycée Gustave Eiffel. ¡Conectar con mentes jóvenes de todo el mundo hizo que esta misión educativa fuera una experiencia increíblemente gratificante para nuestro equipo!





MIRANDO HACIA EL FUTURO

Próximos pasos: Escalamiento de la tecnología de HA a nivel de demostración; evaluación del rendimiento de los cultivos utilizando fertilizantes nanoestructurados derivados de biomasa y el efluente de los HA; análisis de ciclo de vida (ACV) y evaluaciones tecnoeconómicas; expansión de la ciencia ciudadana a través de las iniciativas WaterWatchers (Vigilantes del Agua) y Soil Guardians (Guardianes del Suelo); y una mayor difusión en todos los países socios.

COMUNICACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

SCAN ME SCAN ME SCAN ME SCAN ME