

Proyecto REUSAGUA. Gestión integrada de la regeneración y reutilización eficiente y segura de aguas residuales urbanas en la agricultura

Autores: Alejandro Pérez Pastor (Dpto. Producción vegetal. ETSIA. UPCT, alex.perez-pastor@upct.es), Andrés J. Lara Guillén (Responsable Área Medio Ambiente. CETENMA, alara@cetenma.es), Antonio Skarmeta Gómez (Grupo de Sistemas Inteligentes y Telemática. UM, skarmeta@um.es), Eva Mena Gil (Coordinadora de I+D. EMUASA, emena@emuasa.es), Juanjo Alarcón Cabañero (Director del CEBAS-CSIC, jalarcon@cebas.csic.es), María Teresa Munuera Pérez (Coordinación de Proyectos de I+D+i. AZUD, tmunera@azud.com), Miguel Ángel Zamora Izquierdo (Grupo de Sistemas Inteligentes y Telemática. UM, mzamora@um.es), Pablo Botía Ordaz (Investigador coordinador de equipo. IMIDA, pablo.botia@carm.es), Román Fco. López Aragón (Técnico de reutilización de aguas en agricultura y lodos de EDAR. ESAMUR, roman.lopez@esmur.com), Teresa Reyes Serna Box (Coordinadora de I+D+i y Desarrollo Sostenible. HIDROGEA, trserna@hidrogea.es).

Resumen:

El proyecto “Gestión integrada de la regeneración y reutilización eficiente y segura de aguas residuales urbanas en agricultura” (REUSAGUA), tiene como objetivo el desarrollo de prácticas de gestión y protocolos para el manejo del riego, como medio para alcanzar una producción agrícola sostenible. Para ello, el proyecto se apoya en dos pilares: 1) la utilización segura y eficiente de agua regenerada; 2) La integración de tecnologías de la información y comunicación en el sector.

Para optimizar el manejo de las aguas regeneradas y limitar los efectos negativos de la misma sobre la producción agrícola, el proyecto propone las siguientes soluciones innovadoras: i) Desarrollo y validación de procesos de depuración innovadores para la eliminación de contaminantes emergentes, que aseguren la calidad del agua regenerada de acuerdo con la legislación, y de forma económicamente sostenible para el agricultor, ii) Desarrollo de protocolos de actuación para mejorar la eficiencia del uso de agua regenerada en la agricultura (uso de sensores inalámbricos, técnicas de monitorización in-situ y mediante vehículos aéreos no tripulados, riego dual y enriquecimiento del agua con ozono para mejorar las condiciones del cultivo), iii) Desarrollo de una plataforma TIC para la integración de la información y la gestión eficiente y segura de las aguas residuales depuradas en la agricultura a través del procesado inteligente mediante sistemas de toma de decisiones, enfocado a las comunidades de regantes, y basado en el IoT.

Abstract:

The Project “Integrated management of efficient and safe reclamation and reuse of urban wastewater in agriculture” (REUSAGUA), has the objective of developing management practices and protocols for irrigation water use, as a way to achieve a sustainable agricultural production. For this, the project is based on two pillars: 1) Safe and efficient reuse of reclaimed water; 2) Integration of information and communication technologies in the sector.

For optimizing the reclaimed water reuse and thus limit any negative effect on the agricultural production, the project proposes the following innovative solutions: i) Development and assessment of innovative water treatment processes for the removal of emerging pollutants of concern, which assure the reclaimed water quality, according to the regulations, and in a sustainable way for the agriculture sector, ii) Development of action protocols for improving the efficiency of the reclaimed water use in agriculture (use of wireless sensors, in-situ monitoring techniques and by unmanned aerial vehicles for the diagnosis of the water status of the crop and the soil salinization, dual irrigation and enrichment of water with ozone to improve crop performance), iii) Development of an ICT platform for the information integration and the efficient and safe management of wastewater in agriculture through smart processing by mean of decision-making systems, focused on irrigation communities, and based on the IoT (Internet of Things).

1 ANTECEDENTES

1.1 Uso del agua regenerada como recurso alternativo para el riego

El agua es un factor clave para la salud de los seres vivos y ecosistemas, así como para el desarrollo social y económico de las regiones. Su decreciente disponibilidad, así como la disminución en su calidad es un problema mundial que será agravado en la próxima década. Para el año 2025 se estima que alrededor de un 60% de la población mundial tendrá que hacer frente a situaciones de escasez de agua (Cosgrove y Rijsberman, 2000). La solución a esta problemática puede venir de una mejora en la eficiencia de la gestión y uso de este recurso, así como por el incremento de los recursos hídricos alternativos, como es el caso de las aguas regeneradas. En este sentido, se estima que más del 80% del agua usada en todo el mundo, ni se recoge ni se trata. Consecuentemente es fundamental encontrar alternativas de tratamiento de aguas residuales, fiables y eficientes, que permitan su reutilización de forma segura, especialmente en su uso agronómico.

La agricultura de regadío es el principal usuario de agua en todo el mundo, alcanzando una proporción que supera el 70-80% del total de los recursos hídricos disponibles en zonas áridas y semiáridas. Por ello tiene sentido utilizar las aguas regeneradas como un suministro hídrico alternativo y complementario que puede aliviar parcialmente la escasez de agua en aquellas regiones donde los recursos hídricos naturales son muy escasos, como es la Región de Murcia. La Región de Murcia es líder mundial en materia de tratamiento y depuración de aguas, así como en el uso del agua regenerada en la agricultura. Cabe destacar que la mitad del agua depurada que se usa para riego en toda España se genera en la Comunidad Valenciana y Murcia, exactamente el 54%, alrededor de 166 hectómetros cúbicos al año.

La actual legislación europea define las concentraciones máximas admisibles y medias anuales de nuevas sustancias consideradas como prioritarias y otros contaminantes en las aguas superficiales y la biota (Directiva 2013/39/CE), a donde actualmente van a parar gran parte de las aguas de escorrentía generadas por la agricultura de regadío. Esta Directiva, que complementa a la actual Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), tiene como principal objetivo adoptar medidas que logren el buen estado químico de las aguas superficiales del continente europeo. En España el uso de las aguas regeneradas también está regulado por ley, en concreto la transposición al ordenamiento jurídico español se realiza mediante el Real Decreto 1620/2007 estableciéndose 20 posibles usos divididos en 5 secciones: urbano, agrícola, industrial, recreacional y medioambiental. La calidad mínima aceptable para cada uso se establece fijando un límite en diferentes parámetros biológicos (nematodos intestinales y E. Coli) y físico-químicos (sólidos en suspensión y turbidez) del agua regenerada, aunque el órgano público regulador se reserva el derecho de añadir algún parámetro de control más en función del uso y lugar de aplicación de este recurso.

1.2 Beneficios y riesgos de la utilización de las aguas regeneradas

La utilización de aguas regeneradas tiene múltiples beneficios (Asano, 2007), tanto medioambientales como directamente económicos para la actividad agrícola. En primer lugar, la reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales del agua, en particular de aquellos provenientes de las escorrentías del riego agrícola. En segundo lugar, la mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible, por ser el flujo de agua regenerada generalmente mucho más controlable que el de la mayoría de los cauces naturales de agua, además de permitir ello una inversión en modernización o en nuevas explotaciones agrícolas más segura. Por último, la utilización de aguas regeneradas supone el aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en ellas a modo de fertilizantes para los cultivos, lo cual puede suponer un ahorro muy importante para los agricultores, además del beneficio medioambiental asociado a la disminución del uso de fertilizantes químicos.

Aunque el aprovechamiento de las aguas regeneradas en condiciones aceptables requiere de importantes inversiones en infraestructuras de saneamiento, existen estudios que demuestran que el ahorro de fertilizantes y de consumo energético asociado a su uso, en contraposición al uso de las aguas subterráneas como recurso hídrico convencional, compensa a medio plazo esta inversión, incluso para aguas regeneradas con baja carga de nutrientes. Desde el punto de vista medioambiental y en términos de un balance de CO₂, la conversión de un área de secano en una de regadío usando aguas regeneradas y sus

nutrientes, incluso dobla el consumo de CO₂ atmosférico respecto al uso de otro recurso hídrico convencional (Sala y Serra, 2004).

Por contraposición, existen diferentes riesgos en el uso de aguas regeneradas para el riego agrícola. Entre los riesgos no sanitarios, se encuentra el aporte excesivo de nutrientes a los cultivos si no se gestiona bien la aplicación de este recurso, lo que podría afectar al crecimiento vegetativo del cultivo, a su maduración y/o a la calidad de su fruto. En este mismo sentido, otro riesgo es la salinización a medio plazo del suelo por el aporte continuado de las elevadas concentraciones de sales que habitualmente contienen las aguas regeneradas. Además, estas pueden presentar iones fitotóxicos, siendo los más importantes el sodio, el boro y los cloruros, de entre los cuales los dos últimos son los que presentan una mayor incidencia (Resh, 1997). La elevada concentración de sales presente en estos tipos de agua no solo merma la rentabilidad y productividad de los cultivos debido al efecto osmótico y/o tóxico de los iones salinos, reduciendo la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, sino que también puede intensificar la deficiencia de oxígeno en el suelo, principalmente debido al incremento de los volúmenes de agua a aplicar en estas condiciones para asegurar el correcto lavado de sales (Assouline and Narkis, 2013). Esta disminución de oxígeno para las raíces de las plantas, en estas condiciones, puede limitar su rendimiento (Poysa et al., 1987).

En cuanto a los riesgos sanitarios del uso de las aguas regeneradas en el riego agrícola, éstos a su vez se pueden clasificar en dos tipos: por un lado, el riesgo microbiológico que supone la exposición más elevada a microorganismos patógenos (nematodos intestinales, E. Coli, etc.), y por otro lado el riesgo por presencia de sustancias tóxicas de origen humano (antropogénicas). Estas sustancias tales como metales pesados, pesticidas, etc., y otros agentes químicos como los denominados contaminantes emergentes, pueden acumularse a largo plazo en plantas u otros productos de consumo y afectar finalmente a la salud humana.

Entre los riesgos del uso de aguas regeneradas en la agricultura que actualmente más preocupan en la comunidad científica internacional figura la presencia en ellas de ciertos elementos traza de los denominados “Productos Farmacéuticos y de Cuidado Personal” (PFCs), un grupo diverso de productos químicos de uso extensivo en fármacos y productos de higiene personal. Los PFCs no suelen ser totalmente eliminados con los actuales tratamientos convencionales de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR). Por lo tanto, estos micro-contaminantes pueden entrar finalmente en el ciclo hidrológico y en teoría podrían alcanzar la cadena alimentaria a través de la ingestión de cultivos regados con aguas regeneradas, aunque sea en una cantidad ínfima. Estas sustancias contaminantes ya están consideradas como prioritarias o emergentes en las últimas modificaciones de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) actualizada con la directiva 2013/39/UE (transpuesta al RD 817/2015) que en su Anexo I establece una lista de 45 de ellas entre las que se incluyen metales, pesticidas, hidrocarburos policíclicos aromáticos y disruptores endocrinos.

1.3 Reutilización frente a contaminantes emergentes

La contaminación ambiental y alimentaria debida a los PFCs es actualmente un tema de gran interés público y con repercusión a nivel mundial. Se trata de un asunto prioritario para los principales organismos mundiales dedicados a la protección de la salud pública y medioambiental, tales como Organización Mundial de la Salud y la Agencia Europea de Medio Ambiente. Específicamente, es prioritario el desarrollo de un sistema integral de depuración y regeneración de aguas que asegure la eliminación total de PFCs de modo que el uso de aguas regeneradas en agricultura no suponga ningún tipo de riesgo ambiental o alimentario. La regeneración y reutilización de aguas con plena garantía de seguridad ofrece grandes posibilidades para el desarrollo de tecnologías innovadoras debido al valor económico que el agua residual regenerada tendrá como recurso hídrico alternativo. Dichas tecnologías innovadoras deberán tener en consideración alguna de las técnicas de tratamiento de aguas que ya se han ensayado con éxito de forma experimental. Entre ellas, se pueden destacar las tecnologías de oxidación avanzadas y las tecnologías basadas en la adsorción por carbón activo.

Tecnologías de oxidación avanzadas: Entre las tecnologías de tratamiento con las que ya se ha experimentado de cara a la eliminación de contaminantes emergentes se pueden señalar la oxidación mediante ozono, la oxidación mediante peróxido de hidrógeno o con hipoclorito sódico, la oxidación

catalítica Fenton, la radiación ultravioleta, los ultrasonidos y, por último, los tratamientos conjuntos mediante MBR y fotocátalisis. Los procesos de oxidación avanzada constituyen el futuro de las tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas contaminadas con sustancias prioritarias. Entre ellos, la fotocátalisis heterogénea es uno de los procesos con mayor perspectiva. Entre sus ventajas destacan su capacidad de degradar sustancias tóxicas hasta compuestos totalmente inocuos (CO₂ y ácidos inorgánicos), el ser un proceso capaz de destruir prácticamente cualquier tipo de sustancia orgánica, incluidas mezclas (dioxinas, policlorados, pesticidas, etc.), la eliminación in-situ de las sustancias contaminantes y una demanda energética reducida (nula en caso de utilizar tecnología solar).

Adsorción por carbón activado. El uso de carbón activado es una de las tecnologías más antiguas aplicadas en el tratamiento de aguas, especialmente para eliminar el olor y el sabor del agua destinada a consumo humano. Sin embargo, en depuración de aguas residuales su uso no está tan extendido. Se considera una alternativa muy interesante para la adsorción de compuestos aromáticos y orgánicos, ya que la característica principal del carbón activo es su porosidad, la cual le confiere elevadas capacidades de adsorción. Recientemente se ha comenzado a estudiar las posibilidades que presenta para adsorber fármacos, siendo sus rendimientos superiores al 90% de eliminación y sin la generación secundaria de productos de transformación.

A pesar de que ambos tipos de sistemas han mostrado su eficiencia en la eliminación de contaminantes emergentes, es necesario un estudio capaz de optimizar las condiciones adecuadas de funcionamiento y manejo, los tiempos de contacto, los tipos de materiales a emplear en la instalación, etc., adaptando sus condiciones de operación al agua regenerada obtenida en las EDAR.

1.4 Nuevas tecnologías y gestión de la reutilización

Tal y como se ha indicado, el uso de aguas regeneradas puede provocar un aporte excesivo de nutrientes a los cultivos, así como problemas de salinización del suelo. Por ello resulta fundamental monitorizar el estado del suelo, del ambiente y del cultivo. Para llevar a cabo dicha monitorización pueden utilizarse, desde las tradicionales redes cableadas basadas en dataloggers, hasta las tecnologías de la información y de las comunicaciones relativamente más recientes, como son las Redes Inalámbricas de Sensores (Akyildiz et al., 2002) (WSNs), ampliamente usadas en el marco de la denominada Agricultura de Precisión (Zhang et al., 2002). Dentro de los distintos tipos de WSNs, las más extendidas en el campo de la agricultura de precisión son redes heterogéneas, en las que existen diferentes tipos de dispositivos que llevan a cabo diferentes tareas de acuerdo a su rol. El empleo de este tipo de redes se justifica porque normalmente es necesario monitorizar grandes extensiones, siendo necesarios, por lo general, un conjunto de nodos repetidores o routers que garanticen el correcto funcionamiento de la red y la recepción de mensajes en la Estación Base, también llamada Base Station o Sink node. Las tecnologías mencionadas son fundamentales para constituir el Internet de las Cosas (IoT) en casos de estudio agronómicos. El IoT se puede definir como un paradigma que pretende que todos los objetos cotidianos estén conectados a Internet y que sean capaces de proporcionar determinados servicios e información de forma segura en un entorno ubicuo. Existen diversos modelos de referencia de arquitecturas IoT, basados en un conjunto de capas, donde la de más bajo nivel se corresponde con controladores y dispositivos físicos.

En este proyecto, tanto drones como los diferentes nodos desplegados en los cultivos generarán la información necesaria para determinar la influencia del agua regenerada en los mismos. Estos elementos constituirán la capa de más bajo nivel de la arquitectura IoT a implementar. Adicionalmente, para analizar la evolución de los cultivos regados con aguas regeneradas será necesario implementar otras capas de dicha arquitectura, tales como la de almacenamiento, agregación e integración de datos y aplicación, entre otras. Además del conocimiento de la influencia de las aguas regeneradas en los cultivos, este proyecto desarrollará un sistema integrado de gestión de datos y toma de decisión, basado en tecnologías IoT que permitan optimizar el uso de aguas regeneradas mezcladas con otras fuentes.

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El presente proyecto representa un trabajo de investigación multidisciplinar y de alta calidad científico-técnica en el que se pretenden desarrollar conocimientos y prácticas de gestión necesarias para

una producción agrícola sostenible usando como recurso hídrico el agua regenerada, aportando tecnologías y soluciones innovadoras y recomendaciones de buenas prácticas de uso que permitan el empleo de este tipo de aguas en la agricultura de forma eficiente y segura.

La presencia de contaminantes emergentes en los recursos hídricos comienza a ser de gran preocupación a nivel Europeo, por lo que la integración de tecnologías avanzadas de depuración para la eliminación de contaminantes emergentes será crucial para obtener un agua regenerada de forma eficiente, con calidad y segura, incrementando la confianza tanto de los agricultores, como de los consumidores finales de los productos regados, y posibilitando una correcta gestión de dicho recurso.

2.1 Objetivos científicos

i) Evaluación comparativa de tratamientos avanzados de eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales, ii) Eliminación de los riesgos asociados al uso de aguas regeneradas en agricultura: estudio de la ruta y persistencia de contaminantes emergentes y sus productos de transformación (PTs) en cultivos hortícolas regados con aguas regeneradas, iii) Mejora del rendimiento y la producción en cultivos leñosos regados con aguas regeneradas, iv) Evaluación del efecto del déficit hídrico y el uso de aguas regeneradas sobre diferentes parámetros fisiológicos y agronómicos del cultivo a fin de establecer protocolos de manejo óptimo del riego con diferentes tipos de agua, a través de plataformas inalámbricas de sensores

2.2 Objetivos tecnológicos

i) Optimización de dos tecnologías avanzada de depuración para la eliminación de contaminantes emergentes y uso del agua regenerada en agricultura; ii) Desarrollo de tecnologías y protocolos de actuación para mejorar la eficiencia del uso de agua regenerada en la agricultura (uso de sensores, riego dual y ozono); iii) Desarrollo de una plataforma TIC para integración de información y la gestión eficiente y segura de las aguas residuales en la agricultura.

2.3 Objetivos socio-económicos

i) Obtención de un recurso hídrico de calidad que permita afrontar problemas de escasez de agua al sector agrícola; ii) Fomento del desarrollo y la implantación de sistemas de tratamiento avanzados en plantas de depuradoras de aguas residuales; iii) Difusión de los resultados para mejorar la aceptación pública en el uso y manejo de las aguas regeneradas.

3 PARTICIPANTES DEL PROYECTO

El consorcio, encargado del desarrollo del proyecto REUSAGUA, se encuentra formado por 9 agentes del Sistema regional de ciencia, tecnología e innovación (SRCTE), cada una de las cuales presenta un papel fundamental en la realización del mismo, debido, principalmente, a su amplio bagaje en el sector del agua. El proyecto está financiado por la Consejería de Desarrollo Económico, Turismo y Empleo a través de las ayudas públicas para Proyectos Estratégicos contemplados en la Estrategia de Investigación de Innovación para la Especialización Inteligente de la Región de Murcia (Estrategia RIS3Mur). A continuación, se pasa a describir brevemente cada una de dichas entidades, así como el rol que desempeñan dentro del consorcio.

3.1 AZUD.

La empresa Sistema AZUD S.A., está situada entre los líderes mundiales en fabricación de equipos de filtración y riego localizado, aportando soluciones para adecuar la calidad del agua no solo de tipo agrícola, sino también industrial y urbano. Dentro del proyecto, su papel es el de diseñar y construir una planta de tratamiento de aguas regeneradas mediante la combinación de tecnologías de filtración a diferentes escalas, optimizando sus características para maximizar la eliminación de contaminantes emergentes, químicos y microbiológicos.

3.2 HIDROGEA.

HIDROGEA es una empresa que se dedica a gestionar el Ciclo Integral del Agua. Su ámbito de trabajo incluye la captación, transporte, potabilización, distribución, control sanitario, suministro de agua, saneamiento, depuración y posterior reintroducción del agua tratada en el medio natural. Actualmente da servicio a más de 1 millón de ciudadanos. El papel de HIDROGEA en el proyecto será la participación en mantenimiento y explotación de una de las plantas piloto a emplear en fase experimental, así como la realización de las analíticas necesarias para el control de su operación.

3.3 EMUASA.

La Empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia (EMUASA) tiene como principal actividad la gestión del Ciclo Integral del Agua, incluyendo su captación, potabilización, distribución, mantenimiento de la red de saneamiento, control de vertidos y depuración del agua residual. El rol de EMUASA en el proyecto es el de proporcionar la planta piloto de fotocátalisis, así como su instalación y explotación en la EDAR Murcia Este.

3.4 CEBAS

El CEBAS (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura) es un Instituto de Investigación con sede en la Región de Murcia, que pertenece al CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Se trata de un centro multidisciplinar que lleva a cabo investigaciones en tres áreas científico-técnicas relacionadas: Ciencias Agrarias, Ciencia y Tecnología de los Alimentos, y Recursos Naturales. Por parte del CEBAS, en el proyecto participa el Departamento de Riego, un grupo de investigación de excelencia que ha trabajado durante los últimos 20 años en el manejo sostenible del agua en agro-sistemas Mediterráneos. El CEBAS es el líder del consorcio, por lo que realizará la coordinación y supervisión del proyecto de acuerdo con el plan de trabajo previsto. Además de ello, es líder del paquete de Trabajo 2, sobre Evaluación de Riesgos y participa en el Paquete 3, sobre prácticas de manejo del riego.

3.5 IMIDA

El instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), es organismo público de investigación (OPI), con la condición de organismo autónomo, adscrito a la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Los fines del Instituto son impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico en los sectores agrario, forestal y alimentario. Por parte del IMIDA, en el proyecto participan el Grupo de Riego y Fisiología del Estrés y el Grupo de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (SIGyT), ambos pertenecientes al Departamento de Recursos Naturales. Este grupo liderará el paquete de trabajo 3, siendo responsable además del apartado 3.2, sobre aplicación de nuevas tecnologías para optimizar la productividad del cultivo utilizando aguas regeneradas.

3.6 CETENMA

El Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente (CETENMA), es una asociación empresarial privada sin ánimo de lucro cuya finalidad es servir de apoyo a la investigación, desarrollo e innovación tecnológica para las empresas del sector de la energía y el medio ambiente. CETENMA es líder del paquete de trabajo 1, consistente en la validación a escala laboratorio de tecnologías de tratamiento para la desinfección y eliminación de contaminantes emergentes en aguas regeneradas, y del paquete de trabajo 6, relativo a la difusión de los resultados del proyecto.

3.7 ESAMUR

La Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR) es una Empresa Pública Regional, adscrita a la Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. La Ley de Saneamiento le asigna a ESAMUR la tarea de recaudar y gestionar el Canon de Saneamiento, aplicando estos recursos económicos a la explotación, mantenimiento y control de las instalaciones públicas de saneamiento y depuración de aguas residuales. El papel de ESAMUR en el proyecto es el del control analítico de los compuestos emergentes dentro de las distintas actividades, la

instalación y validación de un equipo de medición en continuo de parámetros microbiológicos y el seguimiento de los resultados obtenidos en las EDAR implicadas en el proyecto.

3.8 UMU

Los miembros del equipo de la Universidad de Murcia (UMU) que participan en este proyecto, pertenecen al GRUPO GSIT (Grupo de Sistemas Inteligentes y Telemática) de la UMU. Los campos de investigación del GSIT son Nuevas Redes y computación móvil, Inteligencia Ambiental y Computación Ubicua, Optimización y Análisis Inteligente de Datos, Arquitectura de seguridad y servicios y Sistemas Autónomos y Telemática aplicada al Transporte. El grupo de la UMU será el responsable del paquete de trabajo 4, consistente en el desarrollo de la capa de sensorización y procesamiento de datos.

3.9 UPCT

La Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) participa con el Grupo de División de Sistemas e Ingeniería Electrónica (DSIE, D19-02), reconocido como grupo de excelencia, y que sigue las líneas de investigación de Ingeniería Electrónica, Ingeniería del Software, Ingeniería de Control y Automática e Ingeniería Agronómica. Dentro del proyecto, el equipo será responsable de la monitorización a través de sensores inalámbricos y cámaras multispectrales y térmicas instaladas en vehículos aéreos no tripulados del estado del suelo y planta en plantaciones regadas con aguas regeneradas, todo ello dentro del paquete de trabajo 3.

4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS A DESARROLLAR

El proyecto REUSAGUA tiene una duración de 30 meses. Los trabajos han dado comienzo en enero de 2018 y se prolongarán hasta junio de 2020. Los trabajos se estructuran según lo siguientes paquetes de trabajo.

4.1 PT1 - Tecnologías de tratamiento terciario para la desinfección y eliminación de contaminantes emergentes en aguas regeneradas: evaluación de aspectos científico-técnicos y validación

El líder de este paquete de trabajo es CETENMA, y su objetivo fundamental es conocer las tecnologías más adecuadas para afrontar el reto de conseguir los mejores niveles de calidad exigidos en las aguas regeneradas, y en base a dicho conocimiento, desarrollar y validar sistemas de depuración capaces de eliminar contaminantes emergentes, así como controlar la carga microbiana. Este paquete se divide en las siguientes tareas.

4.1.1 Tarea 1.1. Estudio de estado-del-arte (Líder: CETENMA).

Se realizarán estudios de revisión bibliográfica sobre tratamiento terciario de aguas, aplicación de nuevas tecnologías de regeneración y desinfección, y eliminación de contaminantes emergentes. Igualmente será revisada la legislación de contaminantes emergentes a nivel europeo. En base a las mejores tecnologías encontradas en esta revisión se realizará el desarrollo de los ensayos a escala laboratorio para la eliminación de contaminantes emergentes.

4.1.2 Tarea 1.2. Desarrollo de ensayos a escala laboratorio para la eliminación de contaminantes emergentes (LÍDER: CETENMA).

Las innovaciones tecnológicas propuestas serán evaluadas experimentalmente en los laboratorios de CETENMA. De las diferentes tecnologías de tratamiento terciario para la desinfección y eliminación de contaminantes emergentes, para este proyecto se han seleccionado la fotocatalisis y la adsorción con carbón activo. A nivel de laboratorio, se realizarán ensayos con estas dos tecnologías utilizando agua depurada de las EDAR Murcia Este y Balsicas respectivamente.

4.1.3 Tarea 1.3. Diseño y construcción de plantas piloto de desinfección y eliminación de contaminantes emergentes de aguas regeneradas (LÍDER: AZUD).

Esta tarea tiene como objetivo principal el desarrollo de dos sistemas de tratamiento avanzado de aguas regeneradas procedentes de EDAR que permita un uso económicamente eficiente y sanitariamente seguro

de este recurso especialmente en cultivos hortícolas. Los sistemas de tratamiento a construir son los siguientes: i) Planta piloto de filtración con tecnología solar de 4.000 l/d de capacidad, basada en las tecnologías de filtración autolimpiante de discos y posterior adsorción en carbón activado, y energéticamente autónoma mediante fuente solar; ii) Planta piloto de fotocátalisis heterogénea de 50 l/h de capacidad y operación en continuo, con opción de operar bien con radiación solar, bien con sistema LED-UV, y recuperación del catalizador mediante membranas de microfiltración

4.2 PT2 - Evaluación de los riesgos asociados al uso de aguas regeneradas en agricultura: estudio de la ruta y persistencia de contaminantes emergentes y sus productos de transformación (PTs) en cultivos hortícolas regados con aguas regeneradas

El paquete de trabajo 2 tiene como objetivo la validación técnica de las tecnologías de tratamiento propuestas, la validación agronómica del riego con agua regenerada, y la determinación de la viabilidad económica e impacto ambiental de las soluciones propuestas. El líder del paquete de trabajo 2 es el CEBAS.

4.2.1 Tarea 2.1. Operación y validación técnica de las plantas piloto. (LÍDER: HIDROGEO).

Se evaluará el rendimiento de ambas plantas piloto en condiciones reales, realizando los ajustes necesarios para optimizar los procesos de mantenimiento de nutrientes, desinfección y eliminación de microorganismos y contaminantes emergentes. La planta piloto de filtración se instalará en la EDAR de Balsicas-Roldán y la de fotocátalisis en la EDAR de Murcia Este. Las aguas tratadas procederán del efluente de ambas EDAR, ya que el principal reto tecnológico del proyecto es validar las tecnologías como una alternativa viable para eliminar los contaminantes emergentes y microbianos que no pueden degradarse con los tratamientos convencionales de las EDAR. En ambas plantas, se realizarán analíticas según legislación de reutilización de aguas para uso en agricultura y especialmente se determinará el contenido en nitrógeno y fósforo, sólidos en suspensión, turbidez y E.Coli. Así mismo se medirán sustancias prioritarias y preferentes, según el RD 87/2015.

4.2.2 Tarea 2.2. Identificación y cuantificación de la carga microbiana de riesgo y los compuestos de transformación generados durante la degradación biológica de los contaminantes emergentes (LÍDER: ESAMUR).

Control mediante sistema de alarma temprana como complemento de los métodos aceptados oficialmente para la detección de la actividad microbiológica. Se utilizará un instrumento de medida en continuo automatizado para la detección de la actividad microbiológica en el agua. El equipo medirá las actividades enzimáticas específicas de β -galactosidasa (coliformes), β -glucuronidasa (E. Coli) y fosfatasa alcalina (actividad total, biomasa), como indicador de la presencia de contaminación bacteriana. El medidor se instalará en la planta de Balsicas, y será trasladado una vez que la planta piloto esté optimizada a las instalaciones de Murcia Este para ser instalado a la salida de la planta de fotocátalisis.

4.2.3 Tarea 2.3. Estudio de las rutas de entrada, si las hubiese, de los contaminantes y sus PTs en cultivos hortícolas cultivados en invernadero (LÍDER: CEBAS).

Para conocer el ciclo completo de los contaminantes estudiados y sus PTs de mayor presencia en las diferentes fases del tratamiento del agua residual, se realizará una evaluación de la degradación, sorción y balance de masas de dichos contaminantes durante el tratamiento de las aguas residuales, en el sustrato cultivado, drenaje y partes comestibles del cultivo. Los contaminantes emergentes estudiados serán carbamazepina, ibuprofeno, diclofenaco, naproxeno y ketoprofeno. La respuesta por su parte se estudiará en 3 tipos de lechuga, perejil, repollo, calabacín y brócoli. La evaluación agronómica se completará con el estudio de la degradación/acumulación de estos contaminantes en las diferentes partes de los cultivos estudiados, mediante el modelo "Standard Plant Uptake Model" desarrollado en colaboración con la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU). Los trabajos serán realizados en la estación de Balsicas-Roldán, finca experimental compuesta por una batería de invernadero de 680m² con cultivo en suelo e hidropónico y en donde es posible comparar la respuesta agronómica de los cultivos a diferentes tipos de agua: agua regenerada procedente de la depuradora y agua procedente del equipo piloto.

4.2.4 *Tarea 2.4. Viabilidad económica de los sistemas de tratamiento y Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (LÍDER: EMUASA).*

En esta tarea se analizarán todos los resultados generados hasta el momento y evaluarán los procesos empleados desde el punto de vista económico y ambiental. Para el análisis económico se estudiarán los costes de depuración del agua residual con las nuevas tecnologías propuestas y se verificará la viabilidad técnico-económica del riego hortícola con las mismas una vez que el agua ha sido mezclada en campo y utilizada para riego. EMUASA y CETENMA realizarán el informe de viabilidad técnico-económica de los sistemas propuestos. Por su parte, CETENMA realizará el ACV de un producto agrícola obtenido en las instalaciones de Balsicas, supuestamente regado con agua regenerada obtenida en ambas plantas de tratamiento.

4.3 PT3 - Desarrollo de prácticas de manejo del riego que permitan optimizar el uso de aguas regeneradas en la agricultura.

El objetivo de este paquete de trabajo es la optimización de la gestión del uso de aguas regeneradas en el riego, minimizando los efectos negativos que la baja calidad agronómica de estas aguas puede generar a nivel fisiológico y productivo. Para ello se desarrollarán protocolos de actuación, basados en el empleo de ozono, nuevas tecnologías y sensores, que permitirán un uso eficiente del agua de riego con aguas regeneradas. Dichos protocolos y sistemas serán testados y validados a nivel de demostración, dando al usuario final (agricultor) argumentos para utilizar las aguas regeneradas no sólo con las suficientes garantías sanitarias sino proporcionando tecnología que potencie la rentabilidad de los cultivos cuando se rieguen con este tipo de aguas. El líder de este paquete de trabajo es el IMIDA.

4.3.1 *Tarea 3.1. Estudio de la influencia de los tratamientos de riego, empleando distintas programaciones y mezclas de agua sobre la respuesta fisiológica y agronómica (LÍDER: CEBAS).*

Se establecerán 6 tratamientos de riego diferenciados en función del tipo de riego (riegos deficitarios y salinos) y de la calidad de las aguas, la cual vendrá dada por el tipo de mezcla realizada. Los tipos de aguas utilizadas para preparar las mezclas serán: i) agua del Trasvase Tajo-Segura y ii) agua regenerada procedente de EDAR. Los distintos tratamientos se evaluarán en las distintas fases de crecimiento del fruto.

4.3.2 *Tarea 3.2. Estudio de la influencia de la utilización en el riego de Ozono como tratamiento avanzado de aguas regeneradas en la respuesta fisiológica y agronómica (LÍDER: IMIDA).*

El principal objetivo de esta tarea es estudiar como un tratamiento avanzado con ozono aplicado en el riego, puede contribuir no sólo a mejorar las condiciones del cultivo sino a incrementar su potencial productivo y su sostenibilidad desde el punto de vista agrícola y medioambiental. Para llevar a cabo el tratamiento se utilizará agua regenerada de EDAR. La dosis de O₃ se modificará en función de la carga orgánica del agua regenerada, pudiendo oscilar entre los 10 y 15 g O₃ / m³ de agua de riego.

4.3.3 *Tarea 3.3. Aplicación de tecnologías avanzadas usadas en agricultura de precisión a diferentes escalas para la optimización de la programación del riego con aguas regeneradas salinas (LÍDER: UPCT).*

Para complementar la optimización de la programación del riego con aguas regeneradas de las Tareas 3.1 y 3.2, se realizará una comparación de índices del estado hídrico de cítricos basados en termografía de infrarrojos con otros indicadores fisiológicos de la planta. En base a la medida de la temperatura de la cubierta vegetal con termoradiómetros y cámaras termográficas (instaladas en drones) se determinará el gradiente térmico, así como diversos índices multiespectrales (CWSI, NDVI, etc.), realizándose una comparativa de la eficiencia/eficacia de los distintos indicadores del estado hídrico propuestos.

4.4 PT4 – Desarrollo de protocolos de actuación para gestionar el uso de aguas regeneradas en comunidades de regantes

En objetivo de este paquete de trabajo es el desarrollo innovador de un sistema de gestión de las aguas regeneradas que constará de una arquitectura modular estratificada en capas. Dicho sistema contemplará

todo el rango de capas de la plataforma, desde el despliegue de sensores y la aplicación de técnicas de monitorización para la extracción de datos, hasta el procesado inteligente de dichos datos que proporcione la información útil al usuario para la actuación sobre parámetros y elementos de control. El líder del paquete de trabajo 4 es la UMU.

4.4.1 Tarea 4.1. Desarrollo de la Capa de Sensorización (LIDER: UMU).

En esta capa se encuentran las distintas fuentes de información del sistema: sensores, actuadores, información abierta proveniente de Internet y bases de datos con información de interés actualizada. Entre los sensores disponibles, se tendrán aquellos que a pesar de proporcionar funcionalidades básicas como por ejemplo, medidas de la calidad del agua, se convierten en objetos inteligentes (Internet of Things) al proporcionar servicios adicionales, como identificación, localización o acciones orientadas a eventos.

4.4.2 Tarea 4.2. Desarrollo de la Capa de Gestión e Integración (LIDER: UMU).

En esta tarea se realizará la integración de toda la información previamente registrada en una base de datos compleja (uso de suelos, tipos de cultivos, restricciones legales y medioambientales, infraestructuras hidráulicas, redes de riego, etc.) basada en criterios técnicos, económicos y medioambientales mediante el análisis multi-criterio. Dicha base de datos servirá como repositorio de información proveniente de todos los módulos componentes del sistema y los servicios de aplicación, incluyendo datos referidos a la infraestructura y flujo de información, así como información sobre usuarios y organizaciones.

4.4.3 Tarea 4.3. Desarrollo de la Capa de Servicios (LIDER: UMU).

La capa de servicios será la que, haciendo uso de la información previamente gestionada e integrada, ofrezca diferentes servicios a las distintas aplicaciones de los usuarios. De esta forma, bajo la misma información procesada y almacenada, se pueden implementar múltiples aplicaciones haciendo uso de los servicios ofrecidos por ésta. En esta tarea se hará uso de las TICs para el desarrollo de una herramienta (DSS) que permita la gestión y mezcla automática de las aguas regeneradas con aguas de otro origen, para optimizar la calidad del agua en función del cultivo. Dicha herramienta de ayuda a la toma de decisión estará formada por redes de sensores de calidad de agua, sistemas de actuación que permitan el control remoto del manejo del riego, y sistemas de alarma que impidan el uso de aguas regeneradas de pobre calidad.

4.4.4 Tarea 4.4. Desarrollo de la Capa de Aplicaciones (LIDER: UMU).

La última tarea supondrá el desarrollo específico de las aplicaciones que permitirán la gestión integrada de todos los equipos, sensores e información disponible, utilizando tecnologías basadas en el IoT, que permitan utilizar redes de sensores y sistemas de alarma para garantizar la calidad y seguridad en el uso y manejo del agua regenerada.

4.5 PT5 – Difusión de los resultados del proyecto

CETENMA es el responsable de este paquete de trabajo, cuyo objetivo es conseguir una mayor aceptación social del uso de aguas regeneradas en la agricultura, buscando argumentos sólidos y difundiendo informes científicos concluyentes para avalar el uso del agua regenerada en la agricultura como una práctica segura y sostenible. Las actividades específicas contempladas para alcanzar este objetivo son:

4.5.1 Comunicación en medios:

Se emitirán notas de prensa en medios especializados sobre el grado de avance del proyecto. Se elaborará una base de datos de potenciales stakeholders, con el fin de mantener informados al público y a los agentes especializados. Igualmente se emitirán boletines digitales, se utilizarán las redes sociales y las webs y canales de comunicación de cada socio, con el objetivo de acceder a la mayor cantidad de público posible.

4.5.2 *Comunicación específica:*

Se presentará el proyecto en conferencias de los eventos más relevantes en la materia. También redactará artículos científicos, recomendaciones y guías de buenas prácticas que garanticen el uso sostenible y seguro de las aguas regeneradas en agricultura. Serán publicados aquellos resultados obtenidos que puedan ser divulgados sin riesgo a comprometer el registro de la propiedad intelectual.

4.5.3 *Conferencia final:*

La conferencia final servirá como plataforma para la discusión y difusión de los resultados del proyecto a nivel estratégico. Se centrará en las oportunidades que ofrece al sector de la reutilización de agua depurada para riego, sus beneficios y la demostración de un uso seguro. Se invitará al evento final al público interesado y a los actores claves, tales como regantes, administración, investigadores tanto del sector de agua como agronómico, proveedores de tecnología de riego, etc.).

4.5.4 *Visitas a las instalaciones:*

Durante el desarrollo del proyecto se realizarán visitas a las fincas experimentales objeto de estudio para facilitar la aceptación social del uso de aguas regeneradas en la agricultura (agricultores, exportadores agrícolas, legisladores, etc.). CETENMA y CEBAS convocarán a los stakeholders interesados.

5 BIBLIOGRAFÍA

Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E. (2002) Wireless sensor networks: a survey. Computer networks. Elsevier

Asano T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. (2007) Water Reuse: Issues, Technologies and Applications. McGraw Hill Professional, 29.

Assouline, S., Narkis, K. (2013) Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the root zone environment. Vadose Zone Journal.

Cosgrove, W.L., Rijsberman, F.R. (2000) World Water Vision: Making Water Everybody's Business. London: Earthscan Publications

Poysa, V.W., Tan, C.S., Stone, J.A. (1987) Flooding stress and the root development of several tomato genotypes. HortScience 22, 24-26

Resh, H. (1997) Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi Prensa, Madrid.

Sala, L., Serra, M. (2004) Towards sustainability in water recycling. Water Science & Technology 50, 1-7