

PLANTAS MÁS PRODUCTIVAS CON MENOS ESFUERZO: LA REVOLUCIÓN DEL CULTIVO INTELIGENTE DE PRECISIÓN

CONTACT DETAILS:

Relaciones con la Empresa
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI
Universidad de Alicante
Tel.: +34 96 590 99 59
Email: areaempresas@ua.es
<http://innoua.ua.es>

ABSTRACT

Investigadores de la Universidad de Alicante han desarrollado un sistema modular de cultivo híbrido (hidropónico-sustrato) con estructura multicapa y multizona, dotado de una arquitectura digital IoT distribuida e inteligencia artificial integrada. El sistema permite monitorizar y controlar de forma precisa el microambiente radicular de cada planta, optimizando el riego, la nutrición y las condiciones ambientales de manera autónoma. Sus principales ventajas frente a las soluciones actuales son la segmentación física del sustrato en tres capas funcionales diferenciadas, la red colaborativa entre macetas sin nodo central y la gestión inteligente basada en datos. Esta novedosa tecnología resulta beneficiosa para la agricultura de precisión, la horticultura de interior, invernaderos, *vertical farming*, viveros y para proyectos de I+D+i agronómicos.

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial.



INTRODUCTION

Los sistemas de cultivo actuales, tanto en sus versiones convencionales como las denominadas "macetas inteligentes", presentan limitaciones estructurales y funcionales que comprometen la eficiencia y la precisión del cultivo. Las soluciones existentes en el mercado, como las macetas con sensor de humedad conectado a una aplicación móvil o los sistemas de riego automatizado básico, no integran un diseño físico optimizado para el análisis radicular, ni contemplan una arquitectura tecnológica interoperable para el control distribuido entre múltiples dispositivos. Asimismo, carecen de compartimentación del sustrato en capas y zonas diferenciadas, de segmentación hídrica controlada, y no implementan inteligencia artificial local para la toma autónoma de decisiones.

En el ámbito de los sistemas hidropónicos, se conocen soluciones de monitorización de humedad que permiten controlar el riego mediante sensores y actuadores conectados a la nube, pero sin integración modular, ni cooperación autónoma en red. También

existen macetas inteligentes con identificación de planta y sensores básicos, pero carecen de diseño multicapa accesible desde el exterior y de capacidades de cooperación distribuida entre múltiples unidades.

Ante este panorama, se identifica la necesidad de un sistema que integre un diseño físico optimizado para el análisis radicular con una arquitectura tecnológica interoperable, que contemple la segmentación del sustrato en capas y zonas diferenciadas, y que implemente inteligencia artificial local para tomar decisiones de forma objetiva, medible y reproducible. La presente invención responde a esta necesidad ofreciendo una solución robusta, interoperable y autogestionada que supera las causas técnicas que originan inestabilidad del entorno radicular y fragilidad operativa en los sistemas convencionales.

TECHNICAL DESCRIPTION

La tecnología desarrollada consiste en un sistema modular de maceta híbrida multicapa y multizona que incorpora un dispositivo *hardware* programable con *interfaces* de comunicación IoT conectado en red para optimizar el cultivo de manera autónoma e inteligente. El sistema puede desplegarse en formato de **maceta individual** (véase *Figura 1*) o en formato de **canal multipuesto** (véase *Figura 2*), adaptándose a las distintas necesidades de producción.

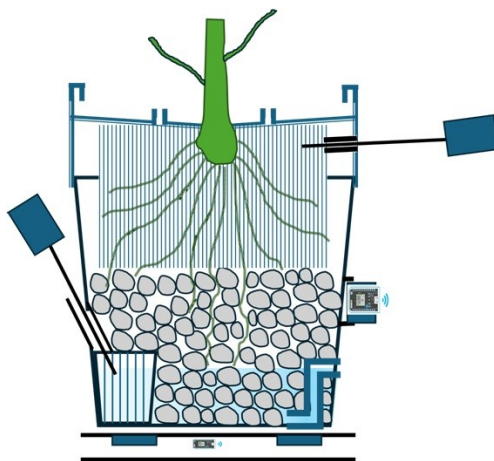


Figura 1: Vista lateral en sección de la maceta individual para el cultivo de plantas.

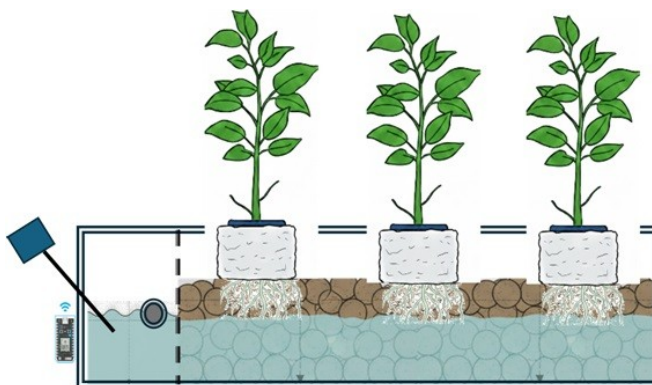


Figura 2: Vista lateral en sección de un canal multipuesto para el cultivo simultáneo de plantas.

ASPECTOS DESTACABLES DE LA TECNOLOGÍA:

Estructura física multicapa: el recipiente de cultivo se divide en tres capas con funciones diferenciadas:

1. **Capa inferior** (zona hidropónica): formada por un depósito de agua permanente que se mantiene a un nivel fijo mediante un tubo de desagüe calibrado. Está dividida en dos zonas: un depósito de agua pura y una zona de coexistencia de agua con material inerte. Incorpora orificios en la pared lateral para insertar sensores de nivel, pH, conductividad eléctrica y temperatura desde el exterior, sin necesidad de desmontar la maceta.
2. **Capa intermedia** (zona de aire y grava): se sitúa entre la capa inferior y la capa superior. Está compuesta por un relleno de arlita o gravilla. Genera un colchón de aire que favorece la oxigenación de las raíces, actúa como drenaje, amortigua cambios rápidos de humedad y temperatura, y sirve como zona de tránsito para las raíces que la atraviesan hacia el depósito inferior.
3. **Capa superior** (zona de sustrato sólido): aloja un bloque de sustrato sólido rígido, como lana de roca u otro material inerte, donde se desarrolla la planta. Dispone de una tapa acoplable con agujeros para microtubos y goteros de riego, así como orificios para sensores de humedad. Entre el sustrato y la tapa se forma una cámara de aire que reduce la evaporación y protege el entorno radicular.

Sistema de sensores y actuadores: el sistema integra sensores en múltiples zonas para un análisis radicular completo y continuo: sensores de agua (pH, conductividad eléctrica, temperatura, nivel) en la capa inferior; sensores de humedad del sustrato a

distintas profundidades en la capa superior; sensores ambientales (temperatura, humedad relativa, luz, CO₂, calidad del aire) en el exterior; y opcionalmente, células de carga en la base para estimar la biomasa y el consumo hídrico. Los actuadores incluyen bombas y electroválvulas para el riego, tiras LED multiespectro para la iluminación y, opcionalmente, ventiladores y humidificadores.

Arquitectura IoT distribuida en malla: cada maceta incorpora un microcontrolador IoT con comunicación inalámbrica (Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, LoRa), y puertos para sensores y actuadores. Las macetas se interconectan formando una red colaborativa en malla (véase Figura 3) que permite el intercambio directo de datos sin necesidad de pasar por un nodo central, lo que elimina puntos únicos de fallo. Esta red se comunica con aplicaciones móviles, *tablets* o asistentes de voz para la visualización de datos y recepción de órdenes.

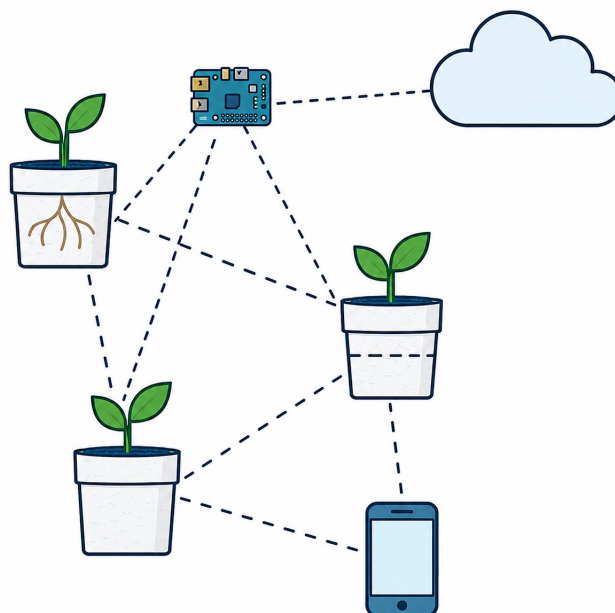


Figura 3: Vista en esquema de la conexión de varios recipientes para el cultivo de plantas.

Arquitectura de software en capas: desplegada en el microcontrolador y en los servidores externos, incluye:

- Una capa de adquisición de datos con lecturas periódicas de sensores y almacenamiento local.
- Una capa de comunicación mediante protocolos IoT como MQTT o HTTP.
- Una capa de control con algoritmos de riego, iluminación y otras acciones según parámetros e información de macetas vecinas.
- Una capa de inteligencia artificial que crea y actualiza datasets de cultivo para predecir necesidades hídricas, detectar anomalías y generar recomendaciones personalizadas.
- Una capa de *interfaz* de usuario con paneles web y móvil, mensajería y control por voz.

El sistema es escalable desde la maceta individual hasta el canal multipuesto, con idéntica funcionalidad en ambos formatos, garantizando la **trazabilidad** y el **control individualizado de cada unidad**.

ADVANTAGES AND INNOVATIVE ASPECTS

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

Esta tecnología presenta las siguientes **ventajas**:

- 1) **Mayor precisión en el control del cultivo:** la segmentación en tres capas funcionales permite medir y actuar de forma independiente en cada zona, optimizando el uso del agua, los nutrientes y las condiciones ambientales con una precisión sin precedentes.
- 2) **Reducción significativa del consumo hídrico:** el desagüe calibrado y el control autónomo del riego evitan el encharcamiento y el desperdicio, **reduciendo hasta un 40% el consumo de agua** respecto a los sistemas convencionales.
- 3) **Inserción de sensores sin desmontar la maceta:** los orificios preformados permiten introducir sondas desde el exterior sin interrumpir el cultivo ni dañar las raíces, facilitando el mantenimiento y la calibración.
- 4) **Eliminación de puntos únicos de fallo:** la red en malla distribuida elimina la dependencia de un nodo central, garantizando la continuidad del sistema ante fallos individuales.
- 5) **Trazabilidad completa por planta y fase fenológica:** la plataforma registra parámetros y decisiones en tiempo real, generando datos auditables para el cumplimiento normativo y las certificaciones de calidad.

6) **Reducción de costes operativos:** la automatización inteligente disminuye la necesidad de mano de obra para supervisión y ajustes manuales.

7) **Escalabilidad y adaptabilidad:** el diseño modular permite pasar del formato maceta al canal multipuesto sin modificar la arquitectura tecnológica, adaptándose a distintas escalas de producción.

8) **Menor impacto medioambiental:** la reducción del consumo de agua y fertilizantes, junto con el menor riesgo de contaminación por lixiviados, contribuye a una **producción más sostenible y respetuosa con el entorno**.

ASPECTOS INNOVADORES DE LA TECNOLOGÍA

La principal novedad de esta tecnología reside en la combinación sinérgica de tres elementos que, hasta la fecha, no se habían integrado en un único sistema:

1. **Diseño físico multicapa** con acceso externo a los sensores sin necesidad de desmontar la maceta.
2. **Red IoT distribuida** en malla entre macetas sin nodo central.
3. **Capa de inteligencia artificial local** con trazabilidad por planta y fase fenológica.

A diferencia de las soluciones existentes que ofrecen un diseño físico optimizado sin conectividad avanzada o integran IoT básica sin compartimentación funcional del sustrato, esta invención aborda simultáneamente todas las causas técnicas de inestabilidad del microambiente radicular. El resultado es un sistema que **monitoriza todos los parámetros en tiempo real, aprende, predice y actúa de forma autónoma**, generando valor diferencial para el agricultor.

Desde el punto de vista de la propiedad industrial, ninguna patente conocida hasta la fecha combina la compartimentación multicapa accesible desde el exterior, la cooperación en red sin nodo central entre múltiples unidades de cultivo, y la inteligencia artificial local integrada en el *hardware* de la maceta, lo que confiere a esta invención una **posición competitiva sólida y diferenciada** en el mercado de los **sistemas de cultivo inteligente**.

CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

Se ha desarrollado con éxito un **prototipo funcional validado** (*Technology Readiness Level* – **TRL 5**) en formato maceta monopuesto, integrando los sistemas de sensores, actuadores y comunicación IoT. El prototipo ha sido evaluado en condiciones reales de cultivo, verificando el correcto funcionamiento de las tres capas funcionales, la inserción, la lectura de los sensores desde el exterior y la comunicación en red entre múltiples unidades.

Los ensayos realizados incluyen:

1. Monitorización continua de los parámetros en la capa inferior: pH, conductividad eléctrica, temperatura y nivel.
2. Medición de perfiles de humedad a distintas profundidades en el sustrato de la capa superior.
3. Control automatizado de riego mediante electroválvulas y bombas.
4. Comunicación inalámbrica entre múltiples macetas en red.
5. Visualización de datos en tiempo real a través de la aplicación móvil.

Los resultados obtenidos confirman la **estabilidad** del sistema, la **precisión** de las medidas y la **viabilidad** de la arquitectura IoT distribuida.

Como próximos pasos de desarrollo, se prevé la validación a mayor escala en entornos de invernadero profesional (TRL 6-7) y la incorporación de modelos de inteligencia artificial entrenados con *datasets* reales de cultivo para la predicción avanzada de necesidades hídricas y la detección temprana de anomalías.

MARKET APPLICATIONS

Esta novedosa tecnología resulta especialmente ventajosa para los siguientes **sectores industriales**:

- **Agricultura de precisión:** invernaderos, *vertical farming* *indoor farming* con control multizona de riego, nutrientes, datos e inteligencia artificial.
- **Semilleros y viveros forestales y ornamentales:** se favorece el enraizamiento homogéneo, la trazabilidad por planta y la reducción de pérdidas.
- **Floricultura y producción ornamental:** se mejora el control de calidad, la uniformidad de la floración, el riego preciso, y el registro por lote y planta.
- **Horticultura alimentaria** (verduras de hoja, hierbas aromáticas, *microgreens*): se estabiliza la conductividad eléctrica, el pH y disminuye el riesgo sanitario.
- **Producción de cannabis medicinal** (GACP/GMP): asegura la trazabilidad por fase, así como el control ambiental y nutricional. Sirve como soporte para la validación normativa.
- **Plantas medicinales, nutracéuticos y cosmética:** estandarización de metabolitos, lotes reproducibles y registro auditable.
- **I+D+i y ensayos** (universidades, centros tecnológicos, semilleros): fenotipado, ensayos comparativos y gemelos digitales.

- **Paisajismo urbano y *Smart cities*** (azoteas verdes, jardines verticales): mantenimiento remoto, ahorro hídrico y *reporting*.
- **Gestión del agua y tratamiento:** permite obtener una disolución optimizada y realizar una purga selectiva. Se reduce el biofilm producido y la acumulación de sales minerales.
- **Seguros agrarios y trazabilidad:** se obtienen datos objetivos por planta y fase fenológica para peritajes y para el cumplimiento normativo.

COLLABORATION SOUGHT

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su explotación comercial mediante acuerdos de **licencia de la patente**.

Tipo de empresas de interés:

- Fabricantes de productos de horticultura técnica.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

La presente invención se encuentra protegida mediante solicitud de patente:

- *Título de la patente: "Recipiente para el cultivo de plantas".*
- *Número de solicitud: P202630082.*
- *Fecha de solicitud: 26 de enero de 2026.*

MARKET APPLICATION (4)

Agroalimentación y Pesca
Biodiversidad y Paisaje
Informática, Lenguaje y Comunicación
Recursos Hídricos

TECHNICAL IMAGES (1)

Sistema modular de cultivo híbrido (hidropónico + sustrato) con monitorización y control inteligente

- Depósito con agua + arena (las arenas están en contacto con el agua)
- Orificio de desagüe calibrado (nivel constante)
- Sensores en el agua: nivel, pH, Cl, temperatura

- ✓ Control inteligente y autónomo con IA local
- ✓ Red colaborativa 4G (sin servidor central)
- ✓ Optimiza riego, nutrición y condiciones ambientales

- Agricultura de precisión Horticultura de interior Invernaderos Vertical farming Foresta y cultivos acuáticos

- ✓ Menor consumo de agua y nutrientes
- ✓ Uso eficiente de agua y nutrientes
- ✓ Fácil monitorización y mantenimiento
- ✓ Mayor productividad y calidad del cultivo

- of culture