



**IV SYMPOSIUM IBÉRICO DE INGENIERÍA HORTÍCOLA
SIBIH24**

Robótica agrícola. Realidad y perspectivas
15 y 22 de noviembre

LIBRO DE RESÚMENES



SYMPOSIUM IBÉRICO DE INGENIERÍA HORTÍCOLA SIBIH24

Robótica agrícola. Realidad y perspectivas
15 y 22 de noviembre

Sociedad Española de Ciencias Hortícolas

LIBRO DE RESÚMENES

Comité Organizador

Dr. Antonio Madueño Luna (Universidad de Sevilla)
Dr. Miguel Calixto López Gordillo (Universidad de Sevilla)
Dra. María del Carmen Florido Fernández (Universidad de Sevilla)
Dr. José Miguel Madueño Luna (Universidad de Sevilla)
Dr. Manuel Jesús González Ortega (Universidad de Sevilla)
Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Antonio Ruíz Canales (Universidad Miguel Hernández de Elche)

Comité Científico

Dr. Ginés García Mateos (Universidad de Murcia)
Dr. Daniel G. Fernández Pacheco (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Jorge Antonio Sánchez Molina (Universidad de Almería)
Dr. José Antonio Álvarez Bermejo (Universidad de Almería)
Dra. María de los Desamparados Melián Navarro (Universidad Miguel Hernández de Elche)
Dr. Manuel Ferrández-Villena García (Universidad Miguel Hernández de Elche)
Dr. José Miguel Molina Martínez (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Luis Manuel Navas García (Universidad de Valladolid)
Dr. Francisco Rodríguez Díaz (Universidad de Almería)
Dra. Dolores Parras Burgos (Universidad Politécnica de Cartagena)
Dr. Emilio Camacho Poyato (Universidad de Córdoba)
Dr. Javier Cancela Barrio (Universidad de Compostela)
Dr. Francisco García Sanchez (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura)
Dra. Silvia Arazuri Garín (Universidad Pública de Navarra)
Dra. Maria Coral Ortiz Sanchez (Universidad Politécnica de Valencia)
Dra. Maria Isabel Valín Sanijiao (Agrarian School of the Polytechnic Institute of Viana do Castelo, IPVC)

Sesión 1

Sensorización, Teledetección y Visión Artificial en Horticultura

Aplicación de sensores NPK para la gestión del manejo agronómico del cultivo de Bimi®. J.C. Abellaneda Pividal, V.M. Gallegos-Cedillo, C.P. García-Ripoll, D.G. Fernández-Pacheco, M. Soler-Méndez, J.M. Molina-Martínez.

Aplicaciones de sensores térmicos y espectrales al cultivo de arroz por goteo con fuentes de agua no convencionales. Manuel J. González-Ortega, Annkathrin Rosenbaum, María Muñoz, Gregorio Egea.

Clasificación de variedades de pitaya por análisis de imagen. Pablo González-Planells, Coral Ortiz, Francisco Rovira-Más, Vicente Alegre.

Análisis de variaciones en el diámetro del tronco y el flujo de savia en vid mediante descomposición de tendencia estacional. Aureliano C. Malheiro, Filipe Adão, Helder Fraga y João A. Santos.

Detección de los patrones de cultivo y estimación de cosecha de limones mediante visión artificial en imágenes de dron y satélites. Antonio Muñoz Sánchez, Rubén Fernandez-Beltrán, Ginés García-Mateos, José Miguel Molina-Martínez.

Efectos de dos estrategias de riego en la Respiración, Evapotranspiración y Estrés Hídrico del pistacho estimados mediante imágenes térmicas obtenidas con UAS. Rubén Vacas, Lidia Núñez, Sergio Vélez, Hugo Martín, Raquel Martínez-Peña, Sara Álvarez.

Efectos de la aplicación de bioestimulantes en el comportamiento agronómico del olivar a través de índices multiespectrales en Castilla y León. Rubén Vacas, Hugo Martín, Daniel Martínez Porro, Enrique Barajas.

Estimación mediante fotografía digital de la altura de planta a partir de la fracción de cobertura vegetal en un cultivo de Bimi®. J.C. Abellaneda Pividal, D.G. Fernández-Pacheco, J.M. Molina-Martínez

Evaluación del estado hídrico de un viñedo con diferentes tratamientos de riego a partir de imágenes térmicas y potencial de tallo. Marta Rodríguez-Febreiro, Javier J. Cancela, María Fandiño.

Evaluación del impacto del riego con agua marina desalinizada en parcelas de cítricos mediante la monitorización con drones en el sureste español. A. Imbernón-Mulero, B. Gallego-Elvira, J.F. Maestre-Valero, V. Martínez-Álvarez, C. Barrera y C. Ortega.

Docencia en Ingeniería Agrícola

Experiencia educativa en vermicompostaje. Laura García-España, Francisco García, Josep Llinares, María Desamparados Soriano.

Sesión 2

Control Automático y Robótica

Análisis, diseño y cálculo de estructuras para su empleo en sistemas agrovoltáicos de cultivos hortícolas. Jesús David Carrasco Gómez, Diego Mayordomo Martínez, Francisco J. Cánovas Rodríguez, Dolores Parras-Burgos y José Miguel Molina-Martínez.

Análisis de la configuración de los pasillos de un invernadero de tipo mediterráneo para la navegación de robots móviles. Fernando Cañadas-Aránega, José Carlos Moreno, Francisco Rodríguez y José Luis Blanco-Claraco.

Desarrollo de un robot de siega para invernadero. Sergio Bayano-Tejero , Gregorio L. Blanco-Roldán , R. R. Sola-Guirado.

Energy Hub para el modelado y optimización del consumo de recursos en un contenedor transportable para cultivo vertical de lechuga. Rubén A. González, Francisco García-Mañas, Elia Ruipérez-Algarra, Francisco Rodríguez.

Diseño de una estructura agrovoltáica para cultivos hortícolas utilizando perfiles de invernaderos comerciales. J.A. Nicolás-Cuevas, D. Parras-Burgos, J.M. Molina-Martínez.

Invernaderos Agrivoltaicos Inteligentes en la región del Mediterráneo. Pablo González-Planells, Coral Ortiz-Sanchez, Francisco Rovira-Mas, Elena Chaveli-Lopez, Carmina Reig-Valor.

Modelización 3D de un sistema mecánico para el movimiento de un módulo agrovoltaico. Manuel Sijes Marín, Dolores Parras-Burgos, Francisco J. Cánovas y José Miguel Molina-Martínez.

Hacia una solución para la reducción de vibraciones en el transporte de cajas de frutas en campo mediante laminas impresas. Pedro Sánchez-Cachinero, Sergio Bayano-Tejero, Rafael R. Sola-Guirado.

Integración del inversor Huawei en la plataforma GENHIDRO para la gestión energética de explotaciones agrícolas. M. Soler Méndez, D. Parras Burgos y J.M. Molina Martínez.

Diseño y desarrollo de un dispositivo agrícola basado en microprocesadores ESP32. Javier Fernández Esquivá, Dolores Parras-Burgos, Manuel Soler Méndez y José Miguel Molina-Martínez.

Analítica: DSS, Modelado, IA, Machine Learning, Deep learning, Optimización

Diagnóstico por visión artificial y redes neuronales de máquinas deshuesadoras de aceitunas. J.M. Madueño-Luna, A. Madueño-Luna, M.C. López-Gordillo, M.J. González-Ortega.

Sesión 5

Visualización de datos

Creación de un dataset de sombras sintéticas para el estudio de la radiación en explotaciones agrovoltaicas con actividad humana. Mengchen Huang, Rubén Fernandez-Beltrán, Ginés García-Mateos, José Miguel Molina-Martínez, Sajad Sabzi.

Aprendizaje máquina aplicado a imágenes hiperespectrales para la detección precoz de yesca en vid. Silvia Arazuri, Patricia Viela, Sara León, Carmen Jarén, Ainara López-Maestresalas.

Análisis de desempeño de los modelos YOLOv5 en la identificación de malezas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de campo. Oscar Leonardo García-Navarrete, Jesús Hernán Camacho Tamayo, Luis Manuel Navas-Gracia.

Adquisición de datos, Comunicaciones e IoT.

Redes de sensores inalámbricos LoRaWAN para el sector agrícola y forestal. Marina Corchado, Carlos Campillo, Manuel Acevedo, Adrián.J Montero, Manuel Serradilla.

Sensorización, Teledetección y Visión Artificial en Horticultura

Determinación de la concentración de nitrógeno en arroz (*Oryza sativa* L.) mediante análisis de reflectancia espectral en Colombia. Diana Carolina Polanía-Montiel, Oscar Leonardo García-Navarrete, Luis Manuel Navas Gracia.

Detección de fallos mediante visión artificial en máquinas deshuesadoras, rodajadoras y de rellena de aceitunas (DRR). A. Madueño-Luna, J.M. Madueño-Luna, M.C. López-Gordillo, M.J. González-Ortega.

Sesión 6

Adquisición de datos e IoT

Algoritmos y sistemas de gestión de la fertirrigación mediante bombas y protocolo modbus RTU. M. Soler Méndez, J. Fernández Esquiva, D. Parras Burgos y J.M. Molina Martínez.

Desarrollo aplicación web para la gestión de dispositivos agrícolas basados en ESP32. Javier Fernández Esquiva , Dolores Parras-Burgos, Manuel Soler Méndez y José Miguel Molina-Martínez.

Identificación basada en datos de modelo dinámico de la nitrificación en suelos arenosos para la predicción de concentraciones de especies nitrogenadas. Francisca Reales, Luis Orihuela.

Sensorización y automatización de jardines verticales mediante tecnologías de bajo coste. Fernando Lago-Pena, Adrián Paz Feijóo, Noelia López-López, Adolfo López-Fabal.

Otras Investigaciones

Análisis de la inclinación de la cubierta de estructuras agrovoltaicas con orientación este-oeste para maximizar la producción fotovoltaica. F.J. Fernández-Cañavate, D.G. Fernández-Pacheco, J.M. Molina-Martínez.

Sesión 7

Otras Investigaciones

Cubiertas hortícolas para la protección del suelo. Laura García-España, Josep Llinares, Maria Desamparados Soriano.

Sustainable Oil Extraction from Spent Coffee Grounds: Integrating Life Cycle Assessment for Environmental and Health Benefits. Malek Miladi, Rania Remmani¹, Antonio Ruiz-Canales, Teresa M. Mata, António A. Martins.

Influencia de la humedad en el proceso de fabricación de paneles ecológicos de caña común (*Arundo donax* L.). B.E. Ferrández-García, M. Ferrández-Villena, T. García-Ortuño, M.T. Ferrández-García.

Valorización de tableros de partículas del tronco palmera datilera (*Phoenix dactilifera*). B.E. Ferrández-García, M. Ferrández-Villena, T. García-Ortuño, M.T. Ferrández-García.

Influencia del cambio climático en el rendimiento de tomate para industria del bajo Guadalquivir . M.C. López-Gordillo, E. Ramírez-Juidías, J.M. Madueño-Luna, A. Madueño-Luna.

Modelización del crecimiento radicular del Bimi[®] a partir de fotografía digital cenital. J.C. Abellaneda Pividal, D.G. Fernández-Pacheco, V.M. Gallegos-Cedillo², J.M. Molina-Martínez.

Respuesta agronómica y gestión del riego para un cultivo de Bimi[®]. J.C. Abellaneda Pividal, V.M. Gallegos-Cedillo, C.P. García-Ripoll, D.G. Fernández-Pacheco, M. Soler-Méndez, J.M. Molina-Martínez.

Seguimiento de la transpiración del almendro mediante técnicas de medida de flujo de savia y balance de energía en superficie. Llanos Simón; Vanesa Jiménez; Ramón López-Urrea; Juan Manuel Sanchez; Francisco Montoya; José González-Piqueras; Álvaro Virosta; Ignacio Buesa.

Análisis, diseño y cálculo de una instalación de alumbrado inteligente en sistemas agrovoltáicos de cultivos hortícolas. Antonio Rodríguez Nicolás, Francisco J. Cánovas Rodríguez, y José Miguel Molina-Martínez.

Influencia del sombreado sobre los cultivos de acelga, borraja y puerro. Aurora Arroyo-García, José Casanova-Gascón, Pablo Martín-Ramos, Luis Manuel Navas-Gracia.

Sesión 8

Otras investigaciones y avances en Ingeniería Hortícola

Two-dimensional real-time computational fluid dynamics for Almeria-type greenhouses. Zhang Chunhao

Sesión 1

Sensorización, teledetección y visión artificial en Horticultura

Aplicación de sensores NPK para la gestión del manejo agronómico del cultivo de Bimi®

J.C. Abelláneda Pividal¹, V.M. Gallegos-Cedillo^{2*}, C.P. García-Ripoll¹, D.G. Fernández-Pacheco¹, M. Soler-Méndez¹, J.M. Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

² Grupo de investigación de Hortofloricultura Mediterránea, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203, Cartagena, Murcia.

* Autor para correspondencia: victor.gallegos@upct.es

Palabras clave: Soluciones basadas en datos, sensores edafoclimáticos, variables biométricas, desarrollo fenológico, brócoli.

Resumen

La implementación de sensores inteligentes edafoclimáticos y las tecnologías IoT representan una herramienta fundamental para el avance hacia una agricultura de precisión sostenible. Así mismo, permiten optimizar la toma de decisiones sobre el manejo agronómico de los cultivos. El objetivo de esta investigación fue implementar sensores NPK y tecnologías IoT para la recopilación de las variables edafoclimáticas y su posterior correlación con el desarrollo fenológico de un cultivo de Bimi®, un híbrido entre el brócoli convencional y el brócoli chino o kailan, con un sabor dulce y suave, y un tallo similar al de un espárrago. El experimento se llevó a cabo en una finca comercial de Bimi® ciclo otoño-invierno situada en la localidad de Lorca, Murcia (España). Las distintas variables edafoclimáticas se recogieron mediante sensores de humedad, conductividad eléctrica y NPK del suelo. Los datos climáticos se registraron a través de una estación meteorológica in situ. Se analizaron las medidas biométricas de altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y rendimiento. También, se determinó el área foliar, el nivel de clorofila SPAD y el contenido iónico en planta. Por otro lado, se analizó la fertilidad de suelo y la dinámica de extracción de nutrientes. Los resultados obtenidos demostraron la existencia de una correlación entre las variables agronómicas y la temperatura, posibilitando así estimar la fecha óptima de trasplante y recolección del cultivo.

Aplicaciones de sensores térmicos y espectrales al cultivo de arroz por goteo con fuentes de agua no convencionales.

Manuel J. González-Ortega^{1*}, Annkathrin Rosenbaum², María Muñoz², Gregorio Egea¹

¹ ETSIA, Universidad de Sevilla, Ctra. de Utrera, km.1, 41013 Sevilla, España.

² TEPRO Consultores Agrícolas S.L., Sevilla, España

*Autor para correspondencia: mgortega@us.es

Palabras Clave: Riego por goteo, termografía infrarroja, agua regenerada, *Oryza sativa*, CWSI

Resumen

El cultivo del arroz en España es especialmente significativo en las marismas del Guadalquivir (Andalucía), que representan el 40% de la producción nacional, junto con la Albufera de Valencia, el Delta del Ebro, las Vegas del Guadiana y Calasparra. El aumento de los ciclos de sequía en estas regiones hace imprescindible una gestión más eficiente de las fuentes de agua, tanto convencionales como no convencionales, para asegurar cultivos de regadío sostenibles. Este estudio tiene un doble enfoque, por un lado, la implementación de sensórica aplicada al control del estrés hídrico del cultivo del arroz en condiciones aeróbicas, como son la termometría infrarroja y los índices espectrales, y en segundo lugar el uso de fuentes de aguas no convencionales, como son las aguas regeneradas. Los ensayos de este estudio se realizaron durante las campañas de 2022 y 2023, estando situadas las parcelas experimentales en el Centro Tecnológico de las Nuevas Tecnologías del Agua (Carrión de los Céspedes, Sevilla), utilizando el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales para el riego por goteo en parcelas experimentales. Se establecieron dos tratamientos de riego: uno con un aporte hídrico completo (T1, 100% ETc) y otro con una ligera reducción (T2, 90% ETc). Mediante el uso de termómetros infrarrojos y sensores de reflectancia espectral, se realizó la monitorización de manera continua la temperatura del dosel del cultivo y los índices de vegetación (NDVI), mientras que la conductancia estomática fue controlada a lo largo del ciclo de cultivo. Los datos obtenidos permitieron establecer líneas base de referencia sin estrés hídrico para calcular el Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI), demostrando la estabilidad de estas líneas en diferentes etapas de crecimiento y horas del día. El estudio ha revelado que el CWSI, calculado a partir de estas líneas base, determinó con precisión las variaciones en el estado hídrico del cultivo, correlacionándose con la dinámica de la conductancia estomática. Es importante también destacar que en las etapas iniciales del crecimiento, cuando el CWSI presentaba limitaciones debido a la influencia del suelo visible, el NDVI ofreció datos complementarios cruciales para una interpretación más completa. Este trabajo destaca la importancia de probar nuevas técnicas de cultivo, como la transición del sistema tradicional de inundación de parcelas al uso de sistemas aeróbicos mediante riego por goteo en el cultivo de arroz. El estudio explora el uso de aguas regeneradas como fuente de agua no convencional en este tipo de riego, subrayando la viabilidad y el potencial de trasladar el uso de sensores térmicos y espectrales a la agricultura comercial. Estas tecnologías permiten a los agricultores tomar decisiones informadas y optimizar la gestión del agua, promoviendo una agricultura más precisa y sostenible en el contexto de riego por goteo con fuentes de agua alternativas.

Clasificación de variedades de pitaya por análisis de imagen

Pablo González-Planells¹, Coral Ortiz^{1*}, Francisco Rovira-Más¹, Vicente Alegre²

¹ Laboratorio de Robótica Agrícola. Dpto Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universitat Politècnica de València, Valencia

² Greenvision (GreenVision - Quality Sorting Systems), Benifayó Valencia

*Autor para correspondencia: cortiz@dmta.upv.es

Palabras Clave: Pitaya, Visión artificial, Variedades,

Resumen

La pitaya o fruta del dragón es un producto tropical cuyo consumo se está extendiendo en Europa. Algunas áreas de la zona mediterránea de España parecen presentar buenas condiciones para su cultivo. En muchas ocasiones se cultivan mezcladas distintas variedades de apariencia externa muy similar, pero presentan internamente características muy diferentes, como color de la pulpa. El objetivo del presente trabajo es utilizar un prototipo de calibrador mediante análisis de imagen para clasificar distintas variedades de pitaya. Las pitayas procedían de un invernadero experimental situado en Picasent (Valencia). Tres variedades de pitaya, de color externo rojo púrpura, fueron ensayadas: ‘Nevada’ (pulpa de color blanco, 107 frutas), ‘Purple’ (pulpa de color rojo púrpura, 115 frutas) y Thai (pulpa color blanco, 14 frutas). Después de pesar las piezas y evaluar la ausencia de daños externos visibles, se obtuvieron las magnitudes de imagen con un prototipo de visión de la empresa Greenvision (coordenadas de color RGB, diámetros máximo y mínimo, perímetro, y área). Después se realizaron las medidas destructivas de firmeza mediante una máquina universal de ensayos y contenido en sólidos solubles mediante refractómetro. Como resultados destacables, se comprobó como el sistema fue capaz de clasificar correctamente los frutos en las tres variedades con un 91 % de frutos bien clasificados (análisis discriminante paso por paso) y 98 % (red neural bayesiana). El sistema de visión fue capaz de diferenciar mediante análisis de imagen no destructivo las distintas variedades de pitaya ensayadas y podría ser una prometedora solución para la clasificación de los frutos en las líneas de confección en almacén.

Agradecimientos: Los autores quieren agradecer a los proyectos “INTEGRACIÓN DE SISTEMAS AGRONÓMICOS Y FOTOVOLTAICOS PARA LA PRODUCCIÓN INTELIGENTE DE CULTIVOS MEDITERRÁNEOS Y SUBTROPICALES (INNEST/2022/115)” y “RECOLECCIÓN INTELIGENTE Y AUTOMATIZADA DE CULTIVOS DE ALTO VALOR EN INVERNADEROS SOSTENIBLES (INNEST/2023/106)” financiados por la Agencia Valenciana de la Innovación.

Análisis de variaciones en el diámetro del tronco y el flujo de savia en vid mediante descomposición de tendencia estacional

Aureliano C. Malheiro^{1*}, Filipe Adão¹, Helder Fraga¹ y João A. Santos¹

¹Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), 5000-801 Vila Real, Portugal

*Autor para correspondencia: amalheir@utad.pt

Palabras clave: estrés abiótico, Región Demarcada del Douro, flujo de savia, fluctuaciones del diámetro del tronco

Resumen

La vid (*Vitis vinifera*) es una especie sensible a las condiciones meteorológicas, en las que períodos excesivamente cálidos y secos desencadenan mecanismos de autorregulación, como la reducción de la transpiración y la redistribución del agua, encaminados a su supervivencia. Con el objetivo de estudiar la dinámica del agua, se instalaron sensores en el tronco de vides de la variedad Touriga-Nacional con el fin de medir las fluctuaciones en el diámetro del tronco y el flujo de savia en un viñedo comercial situado en la Región Demarcada del Douro (Portugal). Las series temporales de estas variables se descompusieron (descomposición de tendencia estacional) para permitir el análisis de variaciones periódicas e inter diarias, junto con un análisis de la influencia potencial de las variables meteorológicas. Los resultados revelaron un aumento en la sincronización estacional entre el flujo de savia y la variación en el diámetro del tronco, probablemente debido al aumento de la temperatura y la disminución de la disponibilidad de agua durante la temporada de crecimiento. Además, se ha demostrado que las fluctuaciones en el diámetro del tronco están fuertemente correlacionadas con la humedad del aire. Estos resultados revelan el interés de esta metodología en el análisis de datos de series temporales relacionados con la dinámica del agua en la vid, particularmente en condiciones climáticas mediterráneas.

Detección de los patrones de cultivo y estimación de la cosecha de limones mediante visión artificial en imágenes de dron y satélites

Antonio Muñoz Sánchez¹, Ruben Fernandez-Beltran¹, Ginés García-Mateos^{1*}, José Miguel Molina-Martínez²

¹ Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, 30100 Murcia

² Grupo de Ingeniería Agromótica y del Mar, ETS de Ingeniería Agronómica, 30203 Cartagena

*Autor para correspondencia: ginesgm@um.es

Palabras Clave: Patrones de cultivo, Ortofotos, Procesamiento de imágenes, Limoneros, Aprendizaje computacional.

Resumen

Las ortofotografías aplicadas en agricultura, capturadas por ejemplo mediante drones o mediante satélites, permiten obtener imágenes detalladas de grandes extensiones de cultivos agrícolas. Esto da pie al desarrollo de diversas funcionalidades usando visión artificial y procesamiento de imágenes. Entre estos problemas de interés están la determinación del patrón de cultivo, la localización precisa y conteo de los árboles, y la estimación de la producción de las fincas. En concreto, el presente trabajo se centra en el estudio de imágenes de cultivos de limoneros, usando imágenes de drones y de Google Maps. La detección de los árboles se realiza mediante la técnica de búsqueda de patrones. Esta técnica toma un árbol como plantilla y, a partir de ella, detecta todos los árboles que presenten una alta coincidencia con esta plantilla. A continuación, se calibra el contorno de cada árbol detectado y se obtiene su posición en la imagen. Una vez obtenidas las posiciones de los árboles en la imagen, se analiza el patrón de plantación o direcciones principales. El objetivo es crear una estructura de árboles donde a cada árbol se le asignan sus árboles más próximos en cada dirección. Las direcciones se pueden obtener de manera automática o manual. Seguidamente, se detectan los fallos que se hayan podido generar en la estructura de árboles creada, comprobando que cada árbol presenta en cada dirección otro árbol próximo. Esto permite obtener imágenes individuales de cada árbol detectado y de cada hueco en el cultivo. Se determina un mismo tamaño para todas las imágenes y se rotan para que su dirección principal esté alineada con el eje de coordenadas. Finalmente, con los árboles segmentados de forma individual, se han entrenado diversos modelos de *deep learning* para realizar la estimación de la producción de cada árbol, en base a datos de campo de la recolección real obtenida de cada árbol. Los mejores resultados usando únicamente imágenes RGB de los drones se obtuvieron con la red neuronal ViT, que se basa en la idea de los llamados Visual Transformers. Los resultados de este modelo ofrecieron un error medio absoluto de 23,98 Kg por árbol, siendo la producción media por árbol de 88 Kg. Aunque estos resultados dejan abierto un campo de mejora de cara a futuros trabajos, las predicciones de la producción son muy prometedoras, puesto que mejoran más de un 30% las predicciones realizadas de los expertos humanos sobre los mismos cultivos.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Séneca (Agencia de Ciencia y la Tecnología la Región de Murcia) con el proyecto 22130/PI/22.

Efectos de dos estrategias de riego en la Respiración, Evapotranspiración y Estrés Hídrico del pistacho estimados mediante imágenes térmicas obtenidas con UAS

Rubén Vacas^{1*}, Lidia Nuñez¹, Sergio Vélez², Hugo Martín¹, Raquel Martínez-Peña³, Sara Álvarez¹

¹Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL). Valladolid, España.

²Group Agrivoltaics, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Freiburg, Alemania.

³Centro de Investigación Agroambiental “El Chaparrillo” (CIAG). Ciudad Real, España.

*Autor para correspondencia: ita-vacizqru@itacyl.es

Palabras Clave: CWSI, ET, teledetección, dron

Resumen

El pistachero (*Pistacia vera* L.) se ha convertido en una de las especies de mayor interés debido a su adaptación a determinadas regiones en las que antes no era viable su cultivo. Sin embargo, la rentabilidad se ve afectada por factores como el clima y el riego que determinan la producción, haciendo necesario establecer una estrategia de riego adecuada para optimizar el uso del agua, maximizar la eficiencia fotosintética y asegurar una producción de alta calidad en dichas zonas. Las imágenes térmicas de la superficie del *canopy* obtenidas mediante dron permiten la monitorización de procesos fisiológicos clave como la respiración, la evapotranspiración o el índice de estrés hídrico. El objetivo de este trabajo fue analizar la respuesta a dos tratamientos de riego diferenciados, denominados riego control y riego alto, recibiendo el tratamiento de riego alto un 50% más de la cantidad aportada al control. El ensayo está ubicado en la provincia de Valladolid y los datos analizados corresponden a la campaña de 2023. Para su evaluación se emplearon ortofotografías térmicas con el objetivo de estimar la evapotranspiración a partir de un modelo de balance energético basado en DATTUTDUT. También se estimó la respiración de los árboles de pistacho a partir de mapas térmicos del dosel teniendo en cuenta el bioma y tipo de planta funcional en el modelo y por último se obtuvo el índice de estrés hídrico del Cultivo (CWSI).

Los resultados de este trabajo mostraron como la eficiencia hídrica y la respuesta del pistacho bajo distintas condiciones de riego, pueden contribuir a mejorar el desarrollo de estrategias de manejo que optimicen la producción permitiendo su adaptación a las condiciones climáticas de áreas específicas, como Castilla y León.

Efectos de la aplicación de bioestimulantes en el comportamiento agronómico del olivar a través de índices multiespectrales en Castilla y León

Rubén Vacas¹, Hugo Martín¹, Daniel Martínez Porro¹, Enrique Barajas^{1*}

¹ Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León. Ctra. Burgos km 119. 47071 Valladolid.

* [Autor para correspondencia: enrique.barajas@itacyl.es](mailto:enrique.barajas@itacyl.es)

Palabras Clave: NDVI, sostenibilidad, teledetección, calidad de aceite, dron

Resumen

La agricultura es un pilar básico de la sociedad, suministra tanto alimentos como una gran variedad de materias primas. Además, debido al incremento de la población, la demanda de los productos también es mayor. Esto ha obligado a buscar diferentes formas de mejorar los rendimientos en la producción, reducir los tiempos de cultivo y aprovechar tierras hasta ahora inaccesibles. El principal método para potenciar las capacidades vegetales consistía en utilizar grandes cantidades de fertilizantes químicos, ocasionando contaminaciones en las aguas cercanas y alteraciones significativas en el ecosistema. En los últimos años se ha potenciado cada vez más el uso de compuestos orgánicos para reducir el consumo de las formulaciones químicas. Dentro de estas opciones cabe resaltar los bioestimulantes, los cuales son capaces de mejorar la eficiencia de las plantas en absorción y asimilación de nutrientes, en la tolerancia a estrés biótico, abiótico o mejorar alguna de sus características agronómicas. En este sentido, se han estudiado los efectos de aplicación de bioestimulantes, compuestos por extractos de algas, en los parámetros productivos y calidad de aceite de un olivar del cv. Zorzal situado en Valladolid, aplicados por un vehículo autónomo (AGV), con navegación RTK de alta precisión, durante 2023. Para evaluar el desarrollo vegetativo de los tratamientos experimentales establecidos (BIO y Testigo), se realizaron vuelos con dron obteniendo imágenes térmicas y multiespectrales de alta resolución con las que se calcularon los índices de vegetación: Índice Normalizado de Borde Rojo (NDRE), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Vegetación Normalizado Verde (GNDVI), Índice de Estrés Hídrico de Cultivo (CWSI) y el Área Cenital del Canopy (ACC). Los resultados obtenidos no han mostrado un efecto claro entre los tratamientos estudiados en los parámetros productivos, si bien se ha observado mayor extracción de aceite (método Abencor) en el tratamiento Control. De igual forma, los parámetros de calidad de aceite no han mostrado diferencias significativas, si bien el panel de cata ha discriminado el aceite del tratamiento experimental BIO en el atributo picante respecto al aceite del tratamiento Testigo. Los resultados obtenidos son preliminares ya que el efecto de este tipo de productos en un solo año es poco significativo, necesitando más campañas de estudio para poder sacar conclusiones más determinantes.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto 5GNaCar en colaboración con las empresas NOKIA SPAIN y APTICA.

Estimación mediante fotografía digital de la altura de planta a partir de la fracción de cobertura vegetal en un cultivo de Bimi®

J.C. Abellana Pividal¹, D.G. Fernández-Pacheco^{1*}, J.M. Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

* Autor para correspondencia: daniel.garcia@upct.es

Palabras clave: agricultura de precisión, fracción de área sombreada, procesamiento digital de imágenes, brócoli.

Resumen

La estimación precisa de la altura de planta es esencial para el manejo eficiente y el monitoreo del crecimiento de los cultivos, obteniendo así información relativa a los requerimientos de agua y posibilitando una gestión más eficiente del riego. Esta comunicación presenta un enfoque innovador utilizando fotografía digital para inferir la altura de las plantas a partir de la fracción de cobertura vegetal (FCV) en un cultivo de Bimi®, un híbrido entre el brócoli convencional y el brócoli chino o kailan, con un sabor dulce y suave, y un tallo similar al de un espárrago.

Empleando una cámara digital, se capturaron imágenes de alta resolución en cuatro parcelas de Bimi® en diferentes etapas de desarrollo. Las imágenes fueron preprocesadas y segmentadas utilizando el software de visión ENVI® Classic. Posteriormente se desarrollaron modelos matemáticos que correlacionan la FCV con la altura de las plantas, utilizando datos de campo recolectados simultáneamente como referencia.

Los resultados mostraron una correlación significativa entre la fracción de cobertura vegetal y la altura de las plantas de Bimi®, permitiendo la estimación precisa de la altura a partir de datos de imagen. Este método no invasivo y eficiente ofrece una alternativa prometedora a las mediciones manuales tradicionales, mejorando la toma de decisiones en el manejo de cultivos y contribuyendo a la optimización de recursos y el incremento de la productividad agrícola.

Evaluación del estado hídrico de un viñedo con diferentes tratamientos de riego a partir de imágenes térmicas y potencial de tallo

Marta Rodríguez-Febreiro^{1*}, Javier J. Cancela¹, María Fandiño¹

¹ Escola Politécnica Superior de Enxeñaría de Lugo, Rúa Benigno Ledo s/n, 27002, Lugo

• Autor para correspondencia:

martarodriguez.fernandez@usc.es

Palabras Clave: correlaciones, Godello, Riego, Secano, cámara presión.

Resumen

En el presente trabajo se estudia la evolución del estado hídrico de un viñedo comercial, sometido a tres tratamientos de riego diferentes: riego a criterio de la bodega gestora, riego calculado según las necesidades hídricas de las plantas y un tratamiento en secano.

El viñedo a estudio se encuentra localizado en Vilardevós (Verín, Ourense), viñedo conducido en espaldera y plantado en toda su extensión con la variedad de uva ‘Godello’. Cada uno de los tratamientos de riego dispone de seis bloques de repetición con tres plantas cada uno de ellos. En fechas próximas al envero de la uva (mes de agosto), se han tomado imágenes térmicas de cada una de las plantas (cámara FLIR) de los tres tratamientos de riego, así como, tomado medidas de potencial hídrico de tallo medido a mediodía solar en las campañas 2022, 2023 y 2024.

Para la evaluación de los resultados, se han procesado las imágenes termal extrayendo la temperatura media del área central del canopy de las plantas, para poder correlacionarlo con las medidas realizadas en las mismas fechas en que se evaluó el potencial hídrico de tallo.

Con los resultados obtenidos, se han podido correlacionar ambos resultados, obteniendo los mejores factores de correlación en las fechas analizadas en el tratamiento de secano ($r^2 = 0,85$), seguido de los tratamientos de riego a criterio de la bodega gestora y según las necesidades hídricas de las plantas. En cuanto a las temperaturas calculadas con las imágenes termal, se han podido observar mayores temperaturas en el canopy de las plantas del tratamiento en secano en las tres campañas a estudio (aumento de 4°C), y temperaturas similares en los tratamientos en los que se ha aplicado riego, independientemente del criterio de manejo aplicado.

Agradecimientos: Al proyecto “REGAVID. Implementación de una herramienta para la gestión del riego a partir de los datos de un modelo que permita evaluar y predecir las necesidades hídricas del viñedo – FEADER 2022/040B” financiado por AGACAL – Xunta de Galicia.

Evaluación del impacto del riego con agua marina desalinizada en parcelas de cítricos mediante la monitorización con drones en el sureste español

A. Imbernón-Mulero^a, B. Gallego-Elvira^a, J.F. Maestre-Valero^a, V. Martínez-Alvarez^a, C. Barrera^b y C. Ortega^c

^a Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XII N°48, 30203, Cartagena, alberto.imbernon@edu.upct.es (A.I.M); belen.gallego@upct.es (B.G.E); josef.maestre@upct.es (J.F.M.V); victoriano.martinez@upct.es (V.M.A)

^b Fora Forest Technologies S.L.L, Campus Universitario Duques de Soria, s/n, 42004, Soria, carlos.barrera@fora.es (C.B)

^c AEROMEDIA UAV, Centro de negocios BK 1º, Carretera NVI, 15165, A Coruña, cesar.ortega@aeromedia.es (C.O)

Palabras clave: seguimiento agronómico, análisis remoto, fitotoxicidad, respuesta multiespectral, teledetección.

Resumen

En la última década, el sureste de España ha incrementado el uso de agua marina desalinizada (AMD) para el riego agrícola, con el fin de mitigar la escasez hídrica. Sin embargo, la particular composición química del AMD, caracterizada por su baja conductividad eléctrica y relativamente altas concentraciones de boro, sodio y cloro, puede generar acumulaciones en los cultivos y el suelo, lo que conlleva riegos de fitotoxicidad y sodificación. Esto subraya la necesidad de un monitoreo agronómico constante y temprano para prevenir daños a largo plazo. Actualmente, además de los de análisis foliares y de suelo tradicionales, la teledetección mediante drones permite obtener datos multiespectrales, LiDAR y ortofotos con alta resolución espacial, que ofrecen una información detallada de la respuesta espectral del cultivo en diferentes situaciones ambientales y de manejo agronómico. En este estudio, se monitoreó una parcela comercial de pomelo (*Citrus x paradisi* var. Rio Rojo) regada bajo diferentes proporciones de AMD (100% AMD, 100% AMD con reducción de elementos fitotóxicos, 50% AMD y 0% AMD). Se realizaron análisis foliares, de suelo y vuelos cuatrimestrales con drones equipados con sensores multiespectrales, LiDAR y cámara RGB. Los resultados mostraron una acumulación de iones fitotóxicos en las hojas y en el suelo de los árboles regados con AMD, superando los umbrales de fitotoxicidad en estudios previos. No obstante, los parámetros fisiológicos y la producción no se vieron afectados en el corto plazo. Los datos de teledetección confirmaron el buen estado de la vegetación, que presentó firmas espectrales e índices de vegetación característicos de cultivos saludables. A pesar de estos resultados positivos, el uso prolongado de AMD puede generar problemas agronómicos en futuras campañas. La detección temprana de respuestas fitotóxicas, especialmente en grandes superficies agrícolas, es crucial para prevenir mermas productivas y daños más graves, tanto en cultivos perennes como anuales.

Docencia en Ingeniería Agrícola

Experiencia educativa en vermicompostaje

Laura Garcia-España^{1*}, Francisco Garcia², Josep Llinares³, Maria Desamparados Soriano⁴

¹Departamento de Biología Vegetal, Universitat de Valencia, Andres Estelles s/n, 46100, Burjasot, València

² Departamento de Hidráulica, Universitat Politècnica de València, 46025, Valencia

³ Departamento de Química, Universitat Politècnica de València. Parininfo, 46730, Gandia, Valencia

⁴ Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València. Cami de Vera s/n 46023, Valencia

*Autor para correspondencia: asoriano@prv.upv.es

Palabras Clave: Suelo, vermicompostaje, residuos

Resumen.

Durante los últimos años se vienen realizando diversas experiencias de vermicompostaje con alumnos de la ETSIAMN, mayormente dedicados a la realización de su Trabajo Final de Grado.

Las experiencias se basan en el estudio de la transformación de residuos utilizando técnicas de vermicompostaje. La utilización de estas técnicas de vermicompostaje consisten en un proceso de descomposición de los biorresiduos realizado por la actividad de ciertas especies de lombrices, principalmente las del género *Eisenia*, utilizándose mayoritariamente las especies *andrei* y *foétida*.

El vermicompost es un producto que se produce a través del proceso de compostaje con lombrices, que digieren la materia orgánica y la transforman en un abono rico en macro y micronutrientes, así como de microorganismos beneficiosos para el correcto desarrollo de los cultivos.

Estos estudios entre el alumnado tiene en común el tratamiento de transformación de residuos agrícolas, y en especial los residuos de aquellos cultivos mediterráneos mas frecuentes tales como olivo, naranjo, viña, así como restos de plantas aromáticas o restos de café.

Los alumnos aprendieron en estas experiencias a realizar operaciones culturales tradicionales como es el compostaje y vermicompostaje, que cada vez más vuelven a ser aplicadas por los agricultores de la zona. Además, con estas experiencias finalizan su ultimo trabajo de carrera que les servirá para obtener su título e iniciarse en el mercado laboral.

Análisis, diseño y cálculo de estructuras para su empleo en sistemas agrovoltaicos de cultivos hortícolas.

Jesús David Carrasco Gómez¹, Diego Mayordomo Martínez², Francisco J. Cánovas Rodríguez³, Dolores Parras-Burgos² y José Miguel Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia. jesusdavid.carrasco@edu.upct.es, <mailto:josem.molina@upct.es>

² Dpto de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. diego.mayordomo@upct.es, dolores.parras@upct.es

³ Dpto de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. fcojavier.canovas@upct.es

Palabras clave: fotovoltaica, estructura, metálica, iluminación led, placas móviles

Resumen

Por la situación de la Región de Murcia en particular, y la de otras regiones en España con comportamiento semejante como podría ser Andalucía, se sitúan en la zona de Europa caracterizada por la gran cantidad de horas de sol que recibe anualmente. Y ante una necesidad cada vez más presente, de intentar reorientar en aquellos cultivos que lo permitan, la posibilidad de integrar sistemas de generación eléctrica basadas en fotovoltaica. Este intento de integración motiva que haya que replantearse aspectos relacionados tanto con el cultivo, como con el diseño habitual de las estructuras que deben diseñarse. En esta comunicación, se plantea los pasos seguidos para el análisis, diseño y cálculo de las estructuras que soportan una novedosa instalación fotovoltaica, teniendo siempre presente la norma UNE. Considerando en dicho diseño todos los aspectos relacionados con la estabilidad, rigidez, coste, paso de luz hacia al cultivo, incorporación de luces led, y que parte de la estructura debe soportar placas móviles. La existencia de las placas móviles, y, por tanto, la existencia de esos huecos en la estructura, generan esfuerzos que varían con la posición de los paneles fotovoltaicos, que se han tenido en cuenta. Dado que el agua es un bien escaso en la zona, se cuida también en el diseño de la estructura la recogida del agua de lluvia. Por tanto, se presenta los pasos y peculiaridades del análisis, diseño y cálculo de una estructura metálica con perfiles tubulares, sobre las que se sitúa un mecanismo con placas solares fijas y otras placas móviles, las cuales son instaladas bajo las placas fijas, y en función de la necesidad de luz solar para los cultivos, estas se desplazan más o menos, aportando la luz natural necesaria para el cultivo. La estructura diseñada está compuesta por tres cubiertas con una luz total de 15 m., entre las cubiertas se sitúa un canalón de recogida de aguas pluviales al igual que en los laterales, las cubiertas están formadas por tres cerchas Pratt, sobre las cuales se sitúan unos cordones tipo IPE, los cuales soportan el mecanismo de las placas solares, las cubiertas tienen una inclinación de aproximadamente 10° para poder aprovechar al máximo la luz solar. La estructura es regulable y busca en todo momento cubrir las necesidades de luz solar de los cultivos y, a su vez, la obtención de energía fotovoltaica, optimizando la producción de ambas materias. Como novedad incluso, se plantea la colocación de unos focos led situados bajo la cubierta, de forma que, en función de las necesidades de luz para el crecimiento del cultivo y la producción de energía eléctrica de las placas, se puede regular el funcionamiento de estas lámparas para optimizar la instalación.

Análisis de la configuración de los pasillos de un invernadero de tipo mediterráneo para la navegación de robots móviles

Fernando Cañadas-Aránega^{1*}, José Carlos Moreno¹, Francisco Rodríguez¹ y José Luis Blanco-Claraco²

¹Departamento de Informática, ²Departamento de Ingeniería, CIESOL, CeIA3. Universidad de Almería, 04120, Almería, España.

* Autor de correspondencia: fernando.ca@ual.es

Palabras clave: Robótica en agricultura, análisis económico, simulación, MVSIM y ROS.

Resumen

La agricultura intensiva bajo invernadero es crucial para soportar el crecimiento demográfico, pero debe mejorarse su eficiencia y sostenibilidad para satisfacer la creciente demanda de alimentos. Para alcanzar este objetivo, la automatización juega un papel primordial. En particular los robots se han convertido en herramientas muy útiles, ya que permiten la resolución óptima de algunos problemas claves relacionados con el desarrollo de tareas tediosas, sucias y/o peligrosas, las típicas tareas DDD (del inglés *Dull, Dirty and Dangerous*). En este ámbito, para que un robot pueda navegar y recorrer todos los pasillos de un invernadero, estos deben ser adaptados desplazando o eliminando parte del cultivo para facilitar una trayectoria continua y que evite recorrer cada pasillo dos veces, en sentido contrario, para poder avanzar al siguiente; reduciendo así su consumo energético. Esto implica la eliminación de un porcentaje de plantas sobre el área de plantación y, en consecuencia, una pérdida en la capacidad de producción, lo que provocaría un posicionamiento en contra del agricultor. Para poder solventar este problema multiobjetivo, en este trabajo se realiza un análisis detallado de diferentes configuraciones de los pasillos en un invernadero de tipo mediterráneo, extrayendo conclusiones sobre la configuración ideal a partir del consumo del robot, de la reducción de la mano de obra y de la productividad del invernadero. Para ello, se utilizará el simulador *MultiVehicle Simulator* en ROS 2, con el que se emulará el comportamiento real del robot *AGRICOBOT II* en el invernadero, teniendo en cuenta las desviaciones que puede sufrir su trayectoria como consecuencia de su interacción con el suelo. Se han considerado distintas configuraciones típicas de la distribución interior de los pasillos de trabajo, analizando el tiempo total de navegación en tareas de pulverización a través de todos los pasillos y considerando un terreno irregular y con pendiente. El estudio ha tenido en cuenta diferentes configuraciones para un modelo de invernadero experimental ubicado en las instalaciones Agroconnect: diferentes puertas de acceso, pasillos centrales y laterales, extremo de los pasillos sin cultivar, tipo de tarea a realizar, etc.. El resultado es el análisis de estas configuraciones incidiendo en las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas en base a criterios económicos y de consumo energético.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Proyecto 'CyberGreen', PID2021-122560OB-I00, y la infraestructura 'AgroConnect.es' EQC2019-006658-P, ambos financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER *A way to make Europe*. Asimismo, el autor Fernando Cañadas-Aránega cuenta con el apoyo de una beca FPI del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Desarrollo de un robot de siega para invernadero

Sergio Bayano-Tejero^{a*}, Gregorio L. Blanco-Roldán^a, R. R. Sola-Guirado^a

^a University of Cordoba, Campus de Rabanales, Ctra. Nacional IV km 396, 14014, Córdoba, Spain.

*Corresponding author: E-mail: p52bates@uco.es

Palabras clave: robótica, acolchado plástico, malas hierbas, ROS

Resumen

El uso de acolchado plástico en los invernaderos para controlar las condiciones del cultivo está muy extendido, pero tiene un alto impacto medioambiental debido a la mala gestión de los residuos plásticos generados una vez que dejan de usarse. El uso de cubiertas vegetales podría suponer una alternativa al acolchado plástico y aportar grandes beneficios a los cultivos como una mayor fertilidad del suelo, mayor absorción de carbono o aumento de la biodiversidad. Sin embargo, las cubiertas vegetales requieren de cierto mantenimiento para cortar su crecimiento cuando sea necesario con lo que se torna necesaria la mecanización de las operaciones de siega. En este trabajo se presentan los avances realizados en el proyecto GO Bioterrabot en el que se está desarrollando una solución robotizada para la siega de las cubiertas vegetales en invernaderos donde se ha eliminado el acolchado plástico. Se está empleando un pequeño robot comercial programado mediante el entorno de desarrollo de aplicaciones robóticas ROS (Robotic Operative System), al que se le ha dotado de las tecnologías necesarias para la navegación autónoma como un sistema GNSS-RTK, una unidad inercial y un sensor LiDAR. Adicionalmente se le va a incorporar un apero de corte lineal. Para gestionar las operaciones se ha desarrollado una aplicación web que permite planificar, ejecutar y monitorizar la operación. Se están realizando una serie de ensayos para validar la gestión de la cubierta vegetal de manera autónoma y estudiar su factibilidad.

Agradecimientos: Este trabajo forma parte del proyecto de investigación ‘Robotización para el control de cubiertas vegetales eliminando el acolchado plástico de suelo en el cultivo ecológico de frutos rojos (GO BIOTERRABOT)’, que ha sido cofinanciado por el Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía.

Energy Hub para el modelado y optimización del consumo de recursos en un contenedor transportable para cultivo vertical de lechuga

Ruén A. González*, Francisco García-Mañas, Elia Ruipérez-Algarra, Francisco Rodríguez
Departamento de Informática, CIESOL, CeIA3. Universidad de Almería, 04120, Almería, España.

*Autor para correspondencia: r.gonzalez@ual.es

Palabras clave: Agricultura vertical, Sostenibilidad, Reparto de recursos, Planificación óptima.

Resumen: La agricultura vertical en contenedores transportables destaca en la actualidad por ofrecer un entorno altamente controlable en lo que respecta a variables climáticas y de fertirriego, que afectan al desarrollo óptimo de los cultivos. Aunque esa es una de sus principales ventajas, el mantenimiento de un clima de forma artificial en recintos cerrados conlleva un consumo considerable de recursos como electricidad, agua y CO₂. Desde una perspectiva económica, el objetivo no es únicamente lograr la maximización del crecimiento del cultivo, sino maximizar el beneficio entre la venta de la producción del cultivo y los costes asociados por el consumo de recursos demandados por dicho cultivo. En este artículo se presenta un modelo de tipo Energy Hub (EH) como una manera de modelar las transformaciones, conversiones y almacenamientos que experimentan un conjunto de recursos de entrada para obtener otro conjunto de recursos de salida. En la literatura, los EH se utilizan principalmente para la resolución de dos tipos de problemas: la optimización de la operación y la planificación óptima. La optimización de la operación implica la distribución eficiente de recursos, en tiempo real o a largo plazo, para minimizar costes y maximizar la eficiencia de los recursos utilizados, considerando objetivos económicos, medioambientales y sociales. Por otra parte, la planificación óptima se enfoca en el diseño y la configuración a largo plazo de los sistemas analizados, incluyendo la inversión en nuevas tecnologías y la infraestructura necesaria para satisfacer la demanda futura de recursos. Esta planificación abarca la optimización de los costes de inversión, mantenimiento y operación. En este trabajo, el modelado EH se ha aplicado para un contenedor comercial con un cultivo de lechuga, considerando un conjunto de sistemas auxiliares compuesto por iluminación LED, aire acondicionado, humidificación, riego, e inyección de CO₂. Los resultados obtenidos en simulación y combinados con datos reales muestran que abordar el problema con el modelado EH permite planificar el reparto de recursos bajo criterios económicos y/o medioambientales. Además, el planteamiento presentado permite realizar un análisis para el dimensionamiento de los sistemas auxiliares, considerando el aporte de energías renovables.

Agradecimientos

Al proyecto ControlCon (CPUENTE2023/12), financiado por el Plan Propio de Investigación y Transferencia 2023 de la Universidad de Almería (PPIT-UAL, Junta de Andalucía-FEDER 2021-2027. Programa: 54.A). El autor Rubén A. González es beneficiario de una ayuda FPU del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Los autores también agradecen la colaboración de la empresa Agrikubic Systems, S.L.

Diseño de una estructura agrovoltaica para cultivos hortícolas utilizando perfiles de invernaderos comerciales

J.A. Nicolás-Cuevas^{*1}, D. Parras-Burgos¹, J.M. Molina-Martínez¹

¹Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, Murcia. España.

[*juan.nicolas@upct.es](mailto:juan.nicolas@upct.es)

Palabras Clave: Agrivoltaica, Construcciones agrícolas, Horticultura, Sostenibilidad, CYPE

Resumen

Esta comunicación presenta el diseño de una estructura agrovoltaica para cultivos hortícolas, empleando perfiles de invernaderos comerciales con el fin de maximizar tanto la producción agrícola como la generación de energía solar. En primer lugar, se describen los condicionantes en el proceso de diseño, tales como la orientación y las dimensiones de los paneles solares, así como la compatibilidad con la maquinaria agrícola utilizada en cultivos hortícolas.

A continuación, se identifican, mediante simulaciones, las configuraciones geométricas que equilibran la generación de energía, la producción agrícola y los perfiles utilizados en invernaderos comerciales. Estas simulaciones permiten evaluar diversas configuraciones estructurales y seleccionar las más adecuadas, considerando los requisitos de resistencia y deformabilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el uso de perfiles de invernaderos comerciales es viable para determinadas configuraciones geométricas, lo que facilitaría su instalación por parte de empresas especializadas en invernaderos y reduciría los costes de construcción. El diseño propuesto proporciona una solución comercial para la producción agrícola y energética sostenibles.

Invernaderos Agrivoltaicos Inteligentes en la región del Mediterráneo

Pablo González-Planells^{1*}, Coral Ortiz-Sanchez¹, Francisco Rovira-Mas¹, Elena Chaveli-Lopez², Carmina Reig-Valor²

¹Laboratorio de Robótica Agrícola. Dpto Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Universitat Politècnica de València, Valencia.

²Instituto Agroforestal Mediterráneo, Dpto Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València, Valencia.

*Autor para correspondencia: pabgonpl@upvnet.upv.es

Palabras Clave: Sistemas Agrivoltaico, Sensores, Agricultura de Precisión, Paneles Solares, Modelización

Resumen: Este estudio presenta el diseño e implementación de sensores en invernaderos experimentales para crear sistemas agrivoltaicos (APV) inteligentes en cultivos de alto valor. Integrando tecnologías de sensores al sistema, permite un monitoreo continuo de parámetros clave como la temperatura, humedad y el índice de vegetación (NDVI), optimizando el manejo del cultivo y el uso de recursos. En los invernaderos, se evaluaron configuraciones de paneles solares en densidades media y total para investigar el impacto de estos en las condiciones ambientales. Los resultados indicaron que el tratamiento de media densidad aumentó la temperatura de la hoja y el ambiente, probablemente debido a la radiación difusa generada por los paneles, mientras que los valores de NDVI fueron más elevados en el control (sin paneles). Esto podría estar indicando que el sombreado de los paneles solares está relacionado con estrés térmico afectando la actividad de los estomas. El sistema también incluye una red de avisos automáticos, activados cuando las condiciones exceden umbrales críticos, como temperaturas de hoja por encima de 34°C en pitahaya, facilitando la toma de medidas, como ventilación forzada o riego, para mitigar el estrés térmico e hídrico. Este control permitió optimizar tanto el crecimiento del cultivo como la producción de energía, demostrando la viabilidad de los sistemas agrivoltaicos inteligentes para una agricultura sostenible.

Agradecimientos: Los autores quieren agradecer a los proyectos “INTEGRACIÓN DE SISTEMAS AGRONÓMICOS Y FOTOVOLTAICOS PARA LA PRODUCCIÓN INTELIGENTE DE CULTIVOS MEDITERRÁNEOS Y SUBTROPICALES (INNEST/2022/115)” y “RECOLECCIÓN INTELIGENTE Y AUTOMATIZADA DE CULTIVOS DE ALTO VALOR EN INVERNADEROS SOSTENIBLES (INNEST/2023/106)” financiados por la Agencia Valenciana de la Innovación.

Modelización 3D de un sistema mecánico para el movimiento de un módulo agrovoltaico.

Manuel Sijes Marín ¹, Dolores Parras-Burgos ^{2,*}, Francisco J. Cánovas ³, y José Miguel Molina-Martínez ¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

manuel.sijes@edu.upct.es, manuel.ia@agrosolmen.es, josem.molina@upct.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. dolores.parras@upct.es

³ Departamento de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. fcojavier.canovas@upct.es

Palabras clave: sistema agrovoltaico, movimiento placas solares, sistema mecánico, iluminación de cultivos, sombreado de cultivos.

Resumen

La Región de Murcia se sitúa en la zona de Europa que mayor cantidad de horas de sol recibe anualmente, cuya cifra se situó en el año 2020 en 3.302,4 horas. Además, para ese mismo año, la superficie dedicada a cultivos herbáceos fue de 309.610 ha. La actual coyuntura geopolítica y económica, está provocando que los agricultores de la Región de Murcia estén empezando a reorientar su producción agrícola, en zonas de regadío, por producción fotovoltaica, desaprovechando la posibilidad de convivir ambas formas de explotación en la misma superficie.

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta comunicación se presenta un sistema que pretende optimizar en una misma superficie la gestión de energía de una forma inteligente con la producción hortícola. Este sistema está configurado con una estructura que contiene un conjunto de placas fotovoltaicas que pueden desplazarse de forma horizontal por debajo de otros paneles que son fijos. Esto permite el paso de luz al interior de la nave agrovoltaica variando la sombra entre un 50% y el 100%. Para conseguir esto, el Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena ha diseñado y modelado en 3D con el software de diseño asistido por ordenador SolidWorks, un proyecto completo para su futura fabricación e implantación en una zona de cultivo. La novedad de este sistema es la configuración y el control de las placas fotovoltaicas móviles, el cual consiste en un sistema mecánico que consta de un conjunto de engranajes capaz de mover la mitad de las placas de una cubierta a la vez y en sentido contrario que la cubierta contigua. Además, se puede destacar la robustez de la estructura, la versatilidad y la escalabilidad del diseño, para adaptarlo a cualquier superficie, mejorando su mantenimiento con sus diferentes módulos.

En definitiva, el sistema estructural agrovoltaico que se muestra propone un diseño mecánico modelado en 3D para el movimiento sincronizado de las placas solares, para conseguir la apertura y cierre de los diferentes paneles solares y obtener así la mayor producción fotovoltaica y hortícola posible según el tipo de cultivo, optimizando el espacio disponible y favoreciendo ambas actividades.

Hacia una solución para la reducción de vibraciones en el transporte de cajas de frutas en campo mediante laminas impresas

Pedro Sánchez-Cachinero^{1*}, Sergio Bayano-Tejero¹, Rafael R. Sola-Guirado¹

¹ Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Ctra. Nacional IV km 396, 14014, Córdoba

*Autor para correspondencia: p42sacap@uco.es

Palabras Clave: Fruto, Transporte, Daño, Amortiguación, Calidad.

Resumen

Tras la recolección de la fruta, su transporte hacia el punto de acopio se realiza principalmente mediante tractores con remolques u otros vehículos similares. Estos trayectos suelen atravesar terrenos irregulares, expuestos a condiciones adversas como piedras, baches y cárcavas que producen vibraciones e impactos que afectan negativamente a la calidad de la fruta por la iteración fruta-fruta o fruta-contenedor. Existen soluciones para mitigar estos efectos, tales como sistemas de amortiguación o sistemas antivibración en los remolques, o bien embalajes o envases específicos. Sin embargo, no se encuentran estudios que aporten soluciones en el origen, esto es, aplicadas directamente a las cajas de transporte tras la recolección diseñadas para amortiguar eficazmente las vibraciones. En este contexto, la fabricación aditiva, o impresión 3D, surge como una técnica innovadora y económica para la creación de metamateriales con propiedades dinámicas controlables a través del diseño estructural. En este estudio, se investigaron diversos tipos de metamateriales para la mitigación de vibraciones, fabricándose láminas de 1 cm de espesor de ABS mediante impresión aditiva, que pudieran simular fondos de cajas. Las variables analizadas incluyeron el número de patrones, el espesor de los recubrimientos y el ángulo de las probetas. En total, se evaluaron seis probetas diferentes, comparándolas con una probeta maciza que se utilizó como control. Después, se realizaron unas pruebas de impacto sobre las probetas que permitieron identificar aquellas con mejor capacidad de amortiguación. Posteriormente, se registraron las vibraciones generadas en un camino rural mediante acelerómetros colocados en el suelo del remolque y en las cajas de fruta. Con dicha señal de vibración se realizaron ensayos de laboratorio utilizando un vibrador electromagnético que reproducía dicha señal para evaluar la eficacia en la mitigación de impactos colocando sobre el vibrador las láminas ancladas con el peso de fruta. Las aceleraciones registradas en los diferentes ensayos permitieron analizar el comportamiento mostraron una reducción de los impactos entre un 40% y un 80%, dependiendo del tipo de probeta empleada aportando su viabilidad para el objetivo planteado.

Integración del inversor Huawei en la plataforma GENHIDRO para la gestión energética de explotaciones agrícolas

M. Soler Méndez¹, D. Parras Burgos² y J.M. Molina Martínez¹

¹ Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España; manuel.ia@agrosolmen.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España

Palabras clave: Energía fotovoltaica, eficiencia energética, fertirrigación, placas solares, inversores.

Resumen

La energía es un factor de producción que puede ser limitante, además de que su precio presenta una tendencia alcista. La energía eléctrica es una fuente de energía ampliamente utilizada para muchos sectores productivos, entre ellos el sector agrícola. La disponibilidad de la red de suministro eléctrico en el ámbito rural no siempre es fácil, y una de las alternativas más viable tanto técnica como económicamente es la energía fotovoltaica. Para una gestión energética eficiente de una explotación agrícola es necesario conocer la información de la instalación fotovoltaica, para poder organizar los patrones de consumo eléctrico de la explotación. Con tal fin, se integra la información de los inversores Huawei en la plataforma GENHIDRO, brindando la posibilidad de conocer la capacidad productiva de energía de la instalación fotovoltaica, y así ajustar las tareas de fertirrigación de la explotación agrícola. Además, ayuda a comprobar el dimensionamiento de las baterías y a detectar pérdidas de rendimiento del campo fotovoltaico para prever tareas de mantenimiento.

Diseño y desarrollo de un dispositivo agrícola basado en microprocesadores ESP32.

Javier Fernández Esquivia ¹, Dolores Parras-Burgos ^{2*}, Manuel Soler Méndez ¹ y José Miguel Molina-Martínez ¹

¹ Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

javier.fernandez@edu.upct.es, manuel.ia@agrosolmen.es, josem.molina@upct.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. dolores.parras@upct.es

Palabras clave: hardware, microcontroladores, versatilidad, agricultura de precisión.

Resumen

La agricultura en la Región de Murcia es fundamental para su economía y cultura, destacándose como una de las principales áreas productoras de frutas y hortalizas en España. Su clima mediterráneo y la tecnología avanzada en riego permiten cultivos de alta calidad y gran rendimiento. Esta actividad no solo genera empleo y riqueza local, sino que también posiciona a Murcia como un exportador clave en el mercado europeo, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de la región.

El desarrollo de nuevos dispositivos en la agricultura es crucial para aumentar la eficiencia y sostenibilidad del sector. Tecnologías como sensores de suelo y sistemas de riego automatizado permiten un uso más preciso de recursos como agua y fertilizantes, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental. Estos dispositivos facilitan la monitorización en tiempo real de los cultivos, ayudando a los agricultores a tomar decisiones informadas y oportunas. Para conseguir esto, el Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena ha desarrollado un dispositivo de bajo coste basado en un microprocesador ESP32, un dispositivo completo para su implantación en las zonas de cultivo. Gracias a la implantación de estos microprocesadores en la agricultura, obtenemos una gran versatilidad ya que se pueden realizar las tareas de adquisición de datos en todos los formatos existentes como son las señales analógicas, digitales y de protocolo al igual que también se pueden realizar tareas de control como la supervisión y actuación en bombas de inyección de fertilizante. Para aumentar la funcionalidad del equipo, es esencial que se adapte a cualquier situación en el campo. Por ello, este dispositivo está diseñado para operar tanto con alimentación de red ya sea de forma continua o alterna como de forma autónoma mediante una placa solar, permitiendo su uso en diversas ubicaciones sin depender de la infraestructura eléctrica existente.

El desarrollo de nuevos dispositivos agrícolas es crucial para impulsar una agricultura más inteligente, sostenible y resiliente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico. El Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena ha creado un dispositivo de bajo coste basado en el microprocesador ESP32, capaz de adquirir datos y controlar diferentes formatos. Este dispositivo es capaz de adaptarse a cualquier situación gracias a su gran versatilidad.

Analítica: DSS, Modelado, IA, Machine Learning, Deep learning, Optimización

Diagnosis por visión artificial y redes neuronales de máquinas deshuesadoras de aceitunas

J.M. Madueño-Luna², A. Madueño-Luna¹, M.C. López-Gordillo², M.J. González-Ortega¹

¹Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. ²Departamento de Ingeniería Gráfica. Escuela técnica superior de Ingeniería Agronómica (Sevilla). Universidad de Sevilla. España. Ctra. Utrera s/n. 41013. amadueno@us.es

Palabras Clave: Visión artificial, clasificado de aceitunas, segmentación de imágenes, redes neuronales.

Resumen: En la década de 1970 surgen las máquinas deshuesadoras – rodajadoras y de relleno de aceitunas (DRRs) como respuesta a un mercado global exigente (Santos Siles, 1999) de la gran distribución. Tras una serie de mejoras técnicas que incrementaron su velocidad y rendimiento, hoy día no es posible obtener más mejoras por procedimientos mecánicos (De Jódar Lázaro, 2018; Lucas Pascual et al. 2020a). Paralelamente los sistemas de visión artificial (SVA) se han convertido en estándar de inspección visual para la industria agroalimentaria (Abdullah, 2016), incorporando en su dinámica de optimización constante redes neuronales artificiales (RNAs). Tecnología resolutive de última generación no exenta de complejidades de diseño y adaptación a un soporte físico. En 2023 aparece SAM (Segment Anything Model), de acceso libre en la nube y polivalente.

Este trabajo comienza con la toma de dos muestras de imágenes de dos variedades distintas de aceituna (catas virtuales) almacenadas digitalmente por dos softwares industriales distintos momentos antes del deshuesado: Por un lado, imágenes a color de aceitunas Gordal calibre 80 encurtidas al “estilo californiano” (negras oxidadas) tomadas desde una cámara modelo DFK 33GV024 (Cámara DFK 33GV024, 2019) instalada en una Sadrym modelo 130 (DRR). Y por otro lado, imágenes en blanco y negro (escala de grises de 1 byte de profundidad) de aceitunas Hojiblanca calibre 300 encurtidas al “estilo sevillano” (en verde) capturadas por una smart camera de Toshiba (Cámara SPS02, 2015) aplicada a una Deshuesadora – Rodajadora PSL51 (2023).

Posteriormente a través del entorno de trabajo de Google Colab (donde se integra SAM, Matlab y Python) se desarrolla un flujo de trabajo por medio de una serie de scripts para la segmentación y medición de áreas y orientaciones y otros parámetros geométricos de los ‘blobs’ generados de las aceitunas que nos permitan un análisis estadístico y la búsqueda de afinidades entre estos parámetros (Software desarrollado, 2024). Ello nos permitirá analizar la homogeneidad de la muestra (áreas y posicionamiento), y valorar estadísticamente si en el conjunto de ambas muestras existe correlación entre la presencia de barcos (orientación) y los parámetros geométricos de las aceitunas (área y tamaños del eje mayor y menor).

Sesión 5

Visualización de datos

Creación de un dataset de sombras sintéticas para el estudio de la radiación en explotaciones agrovoltaicas con actividad humana

Mengchen Huang¹, Ruben Fernandez-Beltran¹, Ginés García-Mateos^{1*}, José Miguel Molina-Martínez², Sajad Sabzi³

¹ Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, 30100 Murcia

² Grupo de Ingeniería Agromótica y del Mar, ETS de Ingeniería Agronómica, 30203 Cartagena

³ Department of Computer Engineering, Sharif University of Technology, 14588-89694 Tehran, Iran

*Autor para correspondencia: ginesgm@um.es

Palabras Clave: Segmentación de sombras, Sistemas agrovoltaicos, Radiación solar, Deep learning, Actividad humana.

Resumen

La sombra es fenómeno natural que resulta de la ausencia total o parcial de luz. Es bien conocido que las sombras y la radiación solar desempeñan un papel fundamental en la agricultura, en procesos como la fotosíntesis y la evapotranspiración de las plantas. Su influencia es especialmente importante en los sistemas agrovoltaicos, que combinan la producción agrícola y fotovoltaica sobre los mismos terrenos. Medir la cantidad de radiación solar que llega a las plantas y la que reciben las placas fotovoltaicas es necesario para determinar la proporción óptima entre producción agrícola y eléctrica. El problema de segmentar las sombras que aparecen en una imagen en escenas complejas sigue siendo un reto abierto de investigación, para el que se aplican técnicas de *deep learning*. Estas se apoyan en grandes conjuntos de datos etiquetados. Sin embargo, muchos de los conjuntos existentes adolecen de errores de anotación y de ejemplo de sombras agrícolas. En este artículo, presentamos la evaluación de un conjunto de datos de segmentación de sombras de vista cenital generado sintéticamente y caracterizado por un renderizado fotorrealista y máscaras de sombras precisas, denominado AgroSegNet. El conjunto consta de 50.000 pares de imágenes que simulan una explotación hortícola agrovoltaica con posible actividad humana en su interior, con las anotaciones de sombras correspondientes. Nuestro objetivo es determinar su eficacia en comparación con otros conjuntos de datos reales existentes y evaluar cómo influyen factores como la calidad de las anotaciones y el dominio de la imagen en la eficacia de la segmentación de sombras. Para establecer una línea de base, se han entrenado varias arquitecturas de referencia de *deep learning*. Además, evaluamos el rendimiento fuera del dominio en comparación con el conjunto de entrenamiento de otros conjuntos de datos de sombras. Nuestros resultados sugieren que AgroSegNet tiene un rendimiento competitivo y es eficaz para el aprendizaje por transferencia, y será muy útil en la segmentación de sombras en imágenes reales.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Séneca (Agencia de Ciencia y la Tecnología la Región de Murcia) con el proyecto 22130/PI/22, y los proyectos TED2021-129300B-I00 y PID2021-122466OB-I00 del MCIN/AEI/10.13039/ 501100011033, NextGenerationEU/PRTR, UE.

Aprendizaje máquina aplicado a imágenes hiperespectrales para la detección precoz de yesca en vid

Silvia Arazuri^{1*}, Patricia Viela¹, Sara León¹, Carmen Jarén¹, Ainara López-Maestresalas¹.

¹ ISFOOD, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía, 31006, Pamplona.

*Autor para correspondencia: silvia.arazuri@unavarra.es

Palabras Clave: *machine learning*, Tempranillo, enfermedades de madera, Specim IQ.

Resumen

La yesca es una de las enfermedades que mayores daños producen en el sector vitícola debido a que no hay un tratamiento efectivo que la controle o la elimine. Las recomendaciones que distintos organismos internacionales y nacionales presentan, por ejemplo, a través de la Guía de Gestión Integrada de Plagas para la uva de transformación, están relacionadas con medidas culturales de manejo del cultivo, evitar infecciones a través de las tijeras de poda, aplicación de cicatrizantes tras la poda, manejo de residuos, etc. La detección temprana de esta enfermedad de la madera es, por lo tanto, de gran interés para los viticultores ya que puede marcar la forma de manejo del viñedo. En este caso, se ha seleccionado la tecnología de imagen hiperespectral (HSI) como herramienta con potencial para realizar esa detección precoz de la enfermedad. La tecnología HSI combina la espectroscopía de reflectancia en los rangos visible e infrarrojo cercano (VIS-NIR) y la adquisición de imágenes. Entre las principales ventajas de la tecnología seleccionada para este trabajo está la posibilidad de realizar muestreos no destructivos que permitan una monitorización precisa de las enfermedades en campo. Al ser una técnica no destructiva, permite realizar el seguimiento del viñedo, ya que además de la información espectral se dispone de información espacial del desarrollo y evolución de la enfermedad. Sin embargo, la utilización de imágenes hiperespectrales presenta como desventaja la gran cantidad de información que se adquiere con cada imagen y la necesidad de un procesamiento complejo. En este sentido, es necesario aplicar técnicas basadas en el aprendizaje máquina (*machine learning*), para un procesamiento eficiente de los datos. En este trabajo se han aplicado distintas técnicas con el objetivo de identificar cambios en las hojas de cepas afectadas por yesca antes de que los síntomas sean visibles. El ensayo se realizó en un viñedo de la variedad Tempranillo situado en la Finca de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Biociencias de la Universidad Pública de Navarra. Se tomaron imágenes con una cámara IQ de Specim durante la campaña de 2024. La cámara está basada en tecnología de escaneo lineal y cubre el rango espectral de 400-1000 nm. La resolución de las imágenes hiperespectrales es de 512 x 512 píxeles y adquiere un total de 204 bandas en el rango indicado. El análisis quimiométrico se realizó con MATLAB R2021a. Los resultados son esperanzadores ya que se alcanzaron porcentajes de clasificación superiores al 85% al comparar hojas sin síntomas de cepas que no desarrollaron síntomas frente a cepas que desarrollaron síntomas en el corto plazo.

Agradecimientos:

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y por los fondos Next Generation (proyecto TED2021-130364B-I00)

Análisis de desempeño de los modelos YOLOv5 en la identificación de malezas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de campo.

Oscar Leonardo García-Navarrete^{1,2}, Jesús Hernán Camacho Tamayo², Luis Manuel Navas-Gracia¹

¹Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Palencia, España; oscarleonardo.garcia@uva.es, luismanuel.navas@uva.es

²Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá, Colombia; olgarcian@unal.edu.co, jhcamachot@unal.edu.co

*Autor para correspondencia: oscarleonardo.garcia@uva.es, luismanuel.navas@uva.es

Resumen

Las malezas son plantas no deseadas que crecen de manera invasiva y rápida, compitiendo directamente con los cultivos por recursos esenciales como espacio, agua, nutrientes y luz solar. Esta competencia, no solo impacta de manera significativa la productividad de los cultivos, sino que también puede incrementar los costos de producción y provocar la propagación de plagas y enfermedades. El control eficiente de las malezas es, por tanto, un componente clave en la gestión agrícola. La escarda de precisión, una técnica avanzada que utiliza sensores de imagen y algoritmos computacionales, ha surgido como una alternativa eficaz para mitigar estos efectos, minimizando el uso de agroquímicos y reduciendo el impacto ambiental asociado.

Este estudio evalúa la implementación de un sistema basado en la arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN) YOLOv5, específicamente diseñado para la identificación y clasificación de malezas en cultivos de maíz. Se analizaron cinco variantes del modelo (n, s, m, l y x), entrenadas para distinguir el maíz de cuatro especies de malezas. Las imágenes digitales capturadas en condiciones de campo se utilizaron para entrenar los modelos, evaluando su rendimiento mediante métricas como la precisión media promedio (mAP@0.5), el F1 score y los umbrales de confianza.

Los resultados indicaron que la capacidad de clasificación de la clase maíz alcanzó valores del 96% al 97%, con un mAP@0.5 general para todos los modelos entre 0.744 y 0.758. Las diferencias de rendimiento entre las distintas versiones del modelo YOLOv5 fueron menores al 2%, lo que demuestra la consistencia de los modelos en este tipo de aplicaciones. El F1 score, que evalúa el equilibrio entre precisión y exhaustividad, se situó entre 0.72 y 0.74, mientras que los umbrales de confianza oscilaron entre 0.312 y 0.433, lo que refleja la capacidad del sistema para diferenciar con precisión entre el maíz y las malezas.

En conclusión, los modelos YOLOv5l y YOLOv5x demostraron ser los más adecuados para esta tarea, ofreciendo un rendimiento superior en términos de precisión y velocidad de procesamiento. Estas versiones representan una herramienta prometedora para la implementación de sistemas de escarda de precisión, capaces de reducir el uso de herbicidas y mejorar la eficiencia en la gestión de malezas, contribuyendo así a la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas.

Adquisición de datos, comunicaciones e IoT

Redes de sensores inalámbricos LoRaWAN para el sector agrícola y forestal.

Marina Corchado, Carlos Campillo¹, Manuel Acevedo, Adrián.J Montero, Manuel Serradilla.

¹CICYTEX, Ctra. A-V, Km372, 06187 Guadajira, Badajoz

* Autor para correspondencia: carlos.campillo@juntaex.es, marina.corchado@juntaex.es

Palabras Claves: LoRaWAN, digitalización, eficiencia, sensores, Tech4E

Resumen

El grupo de trabajo de CICYTEX defiende la digitalización como un recurso que puede adaptarse a cada productor pues existen diferentes sistemas de obtención de datos, de fácil manejo. Entre otras ventajas, la incorporación de las tecnologías en una parcela reduce pérdidas en el suministro de agua; facilita el diagnóstico en suelo y plantas, ayuda a identificar cuáles son las decisiones más idóneas en tiempo real.

Uno de los problemas de la digitalización en la agricultura es el elevado coste económico que supone cubrir zonas extensas con sondas utilizando sistemas con GPRS. Otro problema sería la falta de cobertura. Desde el proyecto DIHTech4E se están buscando estrategias para facilitar la digitalización de las empresas del mundo AGRO mediante formación, pilotos y asistencias técnicas. Una de las claves que se ha seleccionado para facilitar ese salto a la digitalización ha sido la tecnología LoRaWAN.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación de red de área extendida y baja potencia, diseñado para la transmisión de datos a largas distancias con un consumo de energía muy bajo. Es especialmente adecuado para aplicaciones del Internet de las cosas (IoT).

Desde su introducción, LoRaWAN ha ganado popularidad en una variedad de aplicaciones, como ciudades inteligentes, agricultura inteligente, gestión de residuos, monitoreo ambiental, entre otras. La tecnología continúa evolucionando con mejoras en rendimiento, seguridad y escalabilidad, lo que contribuye a su adaptación continua en el creciente mundo IoT.

Actualmente se han empezado a montar los pilotos de eficiencia de riego en el marco de este proyecto con un kit de inicio de dos sondas de humedad, temperatura y conductividad eléctrica de suelo y un contador volumétrico en parcelas de frutales y hortícolas de la zona de las Vegas Bajas del Guadiana. Los sensores se comunican por radiofrecuencia con uno de los Gateways instalados en la zona, llegando a conectar incluso a 10 km de distancia. El gateway es la puerta de enlace hacia el servidor en internet. El servidor es público y gratuito, por lo que las empresas y agricultores pueden ser dueños de sus datos sin tener que pasar por plataformas de terceros.

Estos pilotos demostrativos unidos a la formación que se ofrece desde DIHTech4E pretende facilitar el tránsito a una agricultura digital más eficiente.

The TECH4E project is nanced by European Union under the Agreement – 101083667 of the Project “TECH4E .Tech4e encyEDIH” regarding the Call: DIGITAL-2021-EDIH-01 supported by the European Commission through the Digital Europe Program

Sensorización, teledetección y visión artificial en Horticultura

Determinación de la Concentración de Nitrógeno en Arroz (*Oryza sativa* L.) mediante Análisis de Reflectancia Espectral en Colombia

Diana Carolina Polanía-Montiel^{1,3}, Oscar Leonardo García-Navarrete^{2,3}, Luis Manuel Navas Gracia³

¹ Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería, Neiva, Colombia; carolina.polania@usco.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá, Colombia; olgarcian@unal.edu.co

³ Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Palencia, España; dianacarolina.polania23@estudiantes.uva.es, oscarleonardo.garcia@uva.es, luismanuel.navas@uva.es

*Autor para correspondencia: luismanuel.navas@uva.es, dianacarolina.polania23@estudiantes.uva.es

Palabras clave: Etapa fenológica, firma espectral, índices de vegetación.

Resumen

La evaluación del estado nutricional en el cultivo de arroz por medio de respuestas espectrales es de importancia para la toma de decisiones referentes a la aplicación de insumos agrícolas, ya que el uso de sensores puede substituir al muestreo destructivo usual en la evaluación de variables fisiológicas y minimiza los costos técnicos de medición. La actual investigación evaluó las respuestas espectrales del arroz (*Oryza sativa* L.), variedad Fedearroz – 67 según estado nutricional asociado al Nitrógeno según fenología. Se estableció un diseño en factorial simple en arreglo en bloques completos y generalizados. Los tratamientos asociados a la dosis de N (0, 160, 200 y 240 kg ha⁻¹) se aleatorizaron en cuatro parcelas de 5m×5m. Las etapas fenológicas macollamiento, desarrollo de panícula y floración se evaluaron en muestreos independientes por lo que se usó un análisis de varianza por etapa. La mayoría de los índices presentaron diferencias significativas por tratamientos, con diferenciación clara del testigo respecto de las dosis 160, 200 y 240 kg ha⁻¹ de N, pero con poca o ninguna diferenciación entre 160 y 200 y entre 200 y 240 en las etapas fenológicas finales. Además, se utilizó el análisis de regresión no lineal para ajustar los índices asociados a la respuesta espectral y el contenido de clorofila. En macollamiento el índice con más ajuste estadístico fue el de la diferencia doble; en el desarrollo de la panícula fue el de simetría del borde rojo normalizado específico y en floración el NDVI2. Con estos resultados se propone utilizar una fertilización específica según fenología, a saber, una dosis de 160 Kg ha⁻¹ de N en macollamiento y desarrollo de panícula y de 200 Kg ha⁻¹ en floración. Estos resultados evidencian la utilidad de los índices espectrales en la estimación del contenido de N y clorofila y en el manejo de la fertilización según fenología.

Detección de fallos mediante visión artificial en máquinas deshuesadoras, rodajadoras y de relleno de aceitunas (DRR)

A. Madueño-Luna¹, J.M. Madueño-Luna², M.C. López-Gordillo², M.J. González-Ortega¹

¹Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. ²Departamento de Ingeniería Gráfica. Escuela técnica superior de Ingeniería Agronómica (Sevilla). Universidad de Sevilla. España. Ctra. Utrera s/n. 41013. amadueno@us.es

Palabras Clave: Visión artificial, clasificado de aceitunas, análisis morfológico, automatización industrial.

Resumen

Durante las últimas tres décadas los sistemas de visión artificial se han convertido en un estándar indispensable para realizar operaciones de control o supervisión en la industria agroalimentaria. Numerosos son los ejemplos existentes que trabajan con todo tipo de frutas y verduras (manzanas, fresas, melocotones, etc.) para clasificar, descartar aquéllas que no cumplan requisitos, etc. Aunque desarrollar esta tecnología no es precisamente fácil ya que requiere de ingenio a la hora de diseñar una aplicación informática optimizada y adaptarla a un soporte físico concreto. En este trabajo se parte de un software industrial implantado en una máquina deshuesadora - rodajadora de aceitunas y de relleno (DRR) de la variedad Gordal que trabaja con aceitunas de mesa oxidadas al estilo californiano, con un calibre en torno a 80 kg/aceituna. Este software toma fotografías de cada aceituna y las almacena digitalmente (haciendo una “cata digital”), esas fotografías se toman justo antes del deshuesado y van a permitir analizar tanto el área (calibre) como la correcta orientación de cada aceituna. Para ese análisis se ha desarrollado un software experimental (concretamente dos scripts) en el entorno Matlab, el primero que permite determinar experimentalmente los niveles de color y morfológicos (erosión, dilatación y objeto de mayor tamaño o “blob”) necesarios para abstraer las aceitunas del fondo de la pista de alimentación de la máquina DRR, y el segundo que procesa toda la “cata virtual” para generar un histograma de áreas y orientaciones de las aceitunas bajo estudio. Los resultados han permitido valorar tanto el clasificado previo por calibres de las aceitunas que hace la entamadora así como la bondad del ajuste mecánico entre la tolva y la cadena de cangilones de la máquina DRR.

Sesión 6

Adquisición de datos e IoT

Algoritmos y sistemas de gestión de la fertirrigación mediante bombas y protocolo modbus RTU

M. Soler Méndez¹, J. Fernández Esquivá¹, D. Parras Burgos² y J.M. Molina Martínez¹

¹ Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España; manuel.ia@agrosolmen.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, España

Palabras clave: Eficiencia energética, fertirrigación, riego de precisión, agricultura 4.0, necesidades nutricionales del cultivo

Resumen

En regiones áridas, la escasez de agua marca la gestión de las explotaciones agrícolas, siendo el riego localizado, tanto la instalación como su manejo, una herramienta muy útil para la gestión eficiente del agua de riego. Asociada al riego localizado está la fertilización, que combinados se llama fertirrigación, y permite el aporte de los nutrientes que requiere el cultivo a través del riego localizado. Fundamentalmente existen dos tipos de sistemas de inyección de fertilizantes empleados masivamente: uno es el sistema Venturi, y el otro es el aporte del fertilizante mediante bomba inyectora. En ocasiones, un Venturi aprovecha la energía disponible de la red de riego, para promover la inyección de fertilizante, pero en muchas otras ocasiones, la energía la obtienen a través de un bombeo auxiliar. Una de las diferencias más importantes entre ambos sistemas de inyección es que, mientras que una bomba inyectora necesita una determinada energía para mover un volumen de fertilizante, un Venturi, con su bomba auxiliar, necesita mover mucho mayor volumen de agua para conseguir inyectar el mismo volumen de fertilizante, dependiendo de su caudal motriz. Por tanto, sin duda es más eficiente energéticamente una bomba inyectora. Pero existen otras ventajas técnicas por las que se refuerza la hipótesis de que la inyección de fertilizantes mediante bombas es la técnica más interesante. Pero para conseguir una fertirrigación pensando en la nutrición de las plantas, el operario encargado de la fertirrigación debe combinar las necesidades del cultivo con la solución nutritiva preparada y las características del sistema de inyección. Englobado en una línea de trabajo mayor encaminada a mejorar la experiencia del operario en la fertirrigación, se desarrollan en este trabajo sistemas de gestión de la fertirrigación y algoritmos de control de las bombas inyectoras mediante protocolo modbus RTU.

Desarrollo aplicación web para la gestión de dispositivos agrícolas basados en ESP32.

Javier Fernández Esquivá ¹, Dolores Parras-Burgos ^{2*}, Manuel Soler Méndez ¹ y José Miguel Molina-Martínez ¹

¹ Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

javier.fernandez@edu.upct.es, manuel.ia@agrosolmen.es, josem.molina@upct.es

² Departamento de Estructuras, Construcción y Expresión Gráfica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. dolores.parras@upct.es

Palabras clave: software, supervisión, control, agricultura de precisión.

Resumen

Las nuevas tecnologías son esenciales para la mejora en la agricultura, aumentando su eficiencia, sostenibilidad y resiliencia. Las aplicaciones web forman parte de estas nuevas tecnologías, utilizadas para mejorar la agricultura haciendo el sector más eficiente y sostenible. Las aplicaciones web permiten a los agricultores acceder a datos en tiempo real sobre sus cultivos, condiciones meteorológicas y necesidades de riego, facilitando la toma de decisiones informadas. Estas herramientas optimizan la gestión de recursos como agua y fertilizantes, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental. Además, las aplicaciones web pueden integrarse con dispositivos de campo, como sensores y drones, para proporcionar una visión integral de las operaciones agrícolas. Esta conectividad y acceso a información precisa promueven una agricultura más inteligente y resiliente, mejorando la productividad y contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico. Para seguir la tendencia de mejora de en la agricultura, el Grupo de Investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar de la Universidad Politécnica de Cartagena ha diseñado una aplicación web para la gestión y control de un dispositivo basado en microprocesadores de bajo coste desarrollado dentro del grupo. Esta aplicación web permite la comunicación remota con el dispositivo, posibilitando la programación para que funcione como datalogger, adquiriendo datos, o como controlador para gestionar el riego u otras funciones disponibles. Además, se ha implementado una sección para supervisar el estado del dispositivo y los datos obtenidos por los sensores. Esto permite verificar el correcto funcionamiento y, en caso de detectar una anomalía, actuar o detener la recolección de datos sin necesidad de desplazarse hasta la ubicación del dispositivo, mejorando la eficiencia y facilitando el mantenimiento. Con estas capacidades, se optimiza la gestión agrícola, asegurando una mayor precisión y ahorro de recursos.

Las aplicaciones web mejoran la eficiencia y sostenibilidad en la agricultura al permitir a los agricultores acceder a datos en tiempo real sobre cultivos y necesidades de riego, optimizando el uso de recursos como agua y fertilizantes, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental. Integradas junto con dispositivos de campo con sensores, proporcionan una visión integral de las operaciones agrícolas.

Identificación basada en datos de modelo dinámico de la nitrificación en suelos arenosos para la predicción de concentraciones de especies nitrogenadas

Francisca Reales^{1*}, Luis Orihuela^{1,2}.

¹Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad, Universidad de Huelva, Ctra. Huelva-Palos de la Frontera, Campus La Rábida, 21819, Huelva, España.

²Dept. Ingeniería Electrónica, Sistemas Informáticos y Automática, Universidad de Huelva, Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n, 21007, Huelva, España.

* Autor para correspondencia: francisca.viejo@diesia.uhu.es

Palabras clave: Nitrificación, Modelo Dinámico, Identificación Basada en Datos, Predicción, Fertilización.

Resumen. En este trabajo se pretende identificar un modelo dinámico que capture el comportamiento del proceso de nitrificación y permita hacer predicciones del valor de las concentraciones de las especies nitrogenadas en la solución del suelo. La nitrificación es la oxidación biológica, bajo condiciones aeróbicas, del NH_4^+ para dar lugar a NO_2^- y después a NO_3^- . Este proceso está afectado por muchas variables, tanto químicas como climáticas y biológicas que tienen impacto en la cinética de la reacción. En la literatura, este proceso se ha modelado tradicionalmente como una conexión en serie de tres sistemas dinámicos de primer orden, para describir los subprocesos de la reacción completa, en base a las concentraciones de NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . Así, en este estudio se desarrolla, en primer lugar, la identificación de un modelo dinámico con la estructura señalada, a partir de datos experimentales. Seguidamente, se valida el modelo para realizar predicciones de la concentración de las especies nitrogenadas.

El ensayo experimental se desarrolló en suelo sin planta, pues la absorción de ésta dificulta la identificación de una dinámica de la reacción de origen bacteriana. El suelo contenía un alto porcentaje de arena y muy poco contenido orgánico. Las muestras se colocaron en bandejas dentro de cámaras, para mantener las condiciones climáticas controladas y conocidas. Se realizaron 4 repeticiones a dos temperaturas diferentes, pues esta variable tiene un impacto importante en la velocidad de la reacción. La extracción de la solución del suelo se realizó, una vez al día, usando *Rhizom Soil Moisture Samplers* (permiten extracción instantánea). La solución de suelo se analizó empleando dos equipos basados en la tecnología ISEs (*ion selective electrode*): IMACIMUS para NH_4^+ ; y LAQUAtwin para NO_3^- , que tuvieron que ser previamente calibrados en diferentes puntos de trabajo.

La comprensión de la cinética de la reacción es fundamental para diseñar un programa de fertilización optimizado, que permita conseguir los mejores rendimientos minimizando el aporte económico.

Sensorización y automatización de jardines verticales mediante tecnologías de bajo coste

Fernando Lago-Pena¹, Adrián Paz Feijóo², Noelia López-López³, Adolfo López-Fabal¹

¹Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Campus universitario. 27002–Lugo

²Perfect Numbers. Avda. Terra Chá, 83. 27800–Villalba (Lugo)

³Estación Agrícola Experimental do Baixo Miño (AGACAL). 36471–Salceda de Caselas (Pontevedra)

*Autor para correspondencia: adolfo.lopez@usc.es

Palabras Clave: Arduino, App, Hidroponía

Resumen: los jardines verticales permiten aumentar la superficie vegetada en edificios, tanto en interior como en exterior, al facilitar colocar plantas con mínima necesidad de espacio. Aunque hay diferentes sistemas, en general el reducido volumen de medio de cultivo los hace muy sensibles a los fallos de funcionamiento y requieren una atención continuada, que se puede facilitar mediante un sistema de telemetría. Se instalaron paneles de jardines verticales de 1.5 m de ancho y 2 m de altura con sistema hidropónico recirculante y dos tipos de soporte de cultivo: lana de roca y tela con bolsillos. Se diseñó un sistema de sensorización de parámetros clave para la monitorización, la automatización de algunas funciones y la generación de alarmas a través de una app móvil, ensayando diferentes sensores de bajo coste y localizaciones en el sistema. Los parámetros monitorizados y los sensores usados fueron: nivel de solución nutritiva en el depósito, con tres tipos de sensores (distanciómetros por ultrasonidos HC-SR04 y RCWL-1670 y sensor capacitivo XKC-Y25-V); calidad de la solución nutritiva, mediante dos modelos de sensores de total de sólidos disueltos; aplicación del riego, con un caudalímetro YF-S201; humedad del soporte de cultivo a 3 alturas, mediante tres tipos de sensores (resistivos FC-28 y HD-38 y capacitivo V.2) e iluminación a 3 alturas (SEN0562). Todos ellos se conectaron a un sistema de automatización basado en una placa Mega 2560 de Arduino con toma de datos en continuo y envío vía modem cada 5 minutos; y se programó una app móvil para la visualización y la configuración de parámetros. A lo largo de 5 meses de seguimiento algunos sensores sufrieron corrosión por la instalación en ambiente húmedo, lo que acortó su vida útil. El sistema de sensorización resultó útil para la monitorización y visualización de los parámetros y la generación de alarmas de mantenimiento. Sin embargo la imprecisión y/o inestabilidad en las lecturas de los sensores no permite recomendar la automatización de funciones importantes en base a su lectura, salvo el encendido de la luz de apoyo en jardines de interior.

Agradecimientos: Este estudio ha sido financiado por A Man de Prado S.L.U. y la Xunta de Galicia a través del proyecto “Jardín vertical con planta viva, montable y monitorizado mediante APP móvil” (FEADER 2022/010A).

Otras investigaciones

Análisis de la inclinación de la cubierta de estructuras agrovoltaicas con orientación este-oeste para maximizar la producción fotovoltaica

F.J. Fernández-Cañavate¹ D.G. Fernández-Pacheco², J.M. Molina-Martínez²

¹Grupo de investigación de Ingeniería Multidisciplinar y Seguridad, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Dr. Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia.

² Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

Palabras clave: producción fotovoltaica, orientación paneles

Resumen

En esta comunicación se analiza la orientación de los paneles solares de la cubierta de una estructura metálica destinada a cultivos hortícolas y su inclinación para maximizar la producción de energía solar fotovoltaica.

El análisis parte de la inclinación y orientación clásica de los paneles solares para que alcancen su capacidad máxima de generación, según su ubicación geográfica y datos meteorológicos. Se particulariza para una orientación este-oeste y se realizan simulaciones para diferentes ángulos de inclinación y orientación de paneles mediante herramientas de CAD, para poder determinar ventajas e inconvenientes de la orientación este-oeste frente a la orientación sur.

Se presentan los resultados para una instalación óptima de paneles, junto a optimizadores que proporcionen una mayor capacidad de generación de electricidad con la menor inversión económica posible.

Los resultados obtenidos indican que una orientación este-oeste del sistema de paneles solares puede ser aconsejable en regiones con elevados niveles de radiación solar.

Sesión 7

Otras investigaciones

Cubiertas hortícolas para la protección del suelo

Laura García-España^{1*}, Josep Llinares², Maria Desamparados Soriano³

¹Departamento de Biología Vegetal, Universitat de Valencia, Andres Estelles s/n, 46100, Burjasot, València

² Departamento de Química, Universitat Politècnica de València. Parininfo, 46730, Gandia, Valencia

³ Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València. Cami de Vera s/n 46023, Valencia

*Autor para correspondencia: asoriano@prv.upv.es

Palabras Clave: Suelo, cubiertas vegetales, escorrentía, concentración de sedimentos.

Resumen

Se estudia el efecto protector sobre la erosión del suelo y la formación de agregados de ciertas cubiertas vegetales dedicadas a agricultura intensiva.

Durante tiempos similares de permanencia de dichas cubiertas se estudia los efectos sobre el suelo el efecto de la lluvia simulada bajo cubiertas vegetales de leguminosas (*Pisum sativum*, *Vicia faba*), crucíferas y arvenses, utilizando un simulador portátil de campo que trabaja en unas condiciones determinadas de intensidad de la lluvia y controlando variables como escorrentía, concentración de sedimentos.

Los resultados muestran diferencias en la respuesta a la lluvia simulada bajo los mismos tratamientos pero distintas cubiertas en la estabilidad de agregados diferenciando considerablemente ambos efectos.

Los valores de la infiltración constante determinada mediante simulación de lluvia en campo, varía entre 24,33 mm/h y 27.24 mm/h, muy superior al suelo desnudo. La concentración de sedimentos en los suelos de las parcelas, con las diferentes cubiertas, varía con valores de concentración de sedimento determinados mediante simulación de lluvia en campo, oscilando entre los 0.16 a 1.67 kg m²h⁻¹ suelos bajo leguminosas y aquellos con *Trifolium*.

En suelos con enmiendas como la adición de estiércol se encuentran mejores resultados de estos dos parámetros, la formación de agregados de arcilla y materia orgánica muy estable mejoran la porosidad del suelo, indicando que ciertas actuaciones para la conservación de suelos mejoran notablemente sus características respecto a los parámetros analizados.

Sustainable Oil Extraction from Spent Coffee Grounds: Integrating Life Cycle Assessment for Environmental and Health Benefits

Malek Miladi^{1*}, Rania Remmani¹, Antonio Ruiz-Canales¹, Teresa M. Mata^{2*}, António A. Martins^{3*}

¹ Engineering Department, Miguel Hernández University, Alicante, Spain

² LAETA - Associated Laboratory for Energy and Aeronautics, Institute of Science and Innovation in Mechanical and Industrial Engineering (INEGI), Porto, Portugal

³ LEPABE - Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy / ALICE - Associate Laboratory in Chemical Engineering, University of Porto - Faculty of Engineering (FEUP), Porto, Portugal

*Corresponding authors: malek.miladi@goumh.umh.es, tmata@inegi.up.pt, aamartins@fe.up.pt

Keywords: Spent Coffee Grounds, Ultrasound-Assisted Extraction, Life Cycle Assessment, Human Toxicity, Circular Economy.

Abstract: Coffee is one of the most popular beverages worldwide, leading to the generation of large amounts of spent coffee grounds (SCGs), which are often discarded as waste, contributing to environmental pollution. However, SCGs are rich in oils, antioxidants, and other valuable compounds that can be harnessed for industrial applications, including biofuels, cosmetics and food additives [1]. This study explores a novel approach to valorizing SCGs through optimized oil extraction, addressing both environmental and health concerns [2]. Using a central composite rotatable design (CCRD), ultrasound-assisted extraction is optimized, integrating environmental considerations. This methodology integrates Design of Experiments (DOE) with life cycle assessment (LCA) to evaluate the environmental impacts of the process, specifically focusing on human carcinogenic toxicity (HCT) and non-carcinogenic toxicity (HNT), which were found to range from 513 to 14,025 kg 1,4-DCB eq and 28,019 to 158,000 kg 1,4-DCB eq, respectively. The ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.02 methodology was employed to evaluate potential environmental impacts, using the SimaPro V8.5.2 LCA software. ANOVA revealed that the liquid-to-solid ratio significantly influences toxicity levels, with specific extraction parameters identified to minimize environmental and health impacts while maximizing oil yield. The research contributes to the growing field of circular economy practices by highlighting the potential of SCGs as a valuable resource. It demonstrates how optimizing industrial processes can lead to more sustainable and health-conscious waste management strategies, transforming waste into useful resources. The integration of DOE and LCA methodologies provides a robust framework for future studies aiming to balance efficiency with environmental sustainability in various industrial applications [3]. In summary, this study presents an innovative and holistic approach to SCG valorization, offering significant implications for industries and environmental management. The optimized extraction process not only enhances resource efficiency but also supports broader sustainability goals, advancing circular economy practices.

References:

1. Massaya, J., Prates Pereira, A., Mills-Lamptey, B., Benjamin, J., & Chuck, C. J. (2019). Conceptualization of a spent coffee grounds biorefinery: A review of existing valorisation approaches. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 149-166. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.001>
2. Miladi, M., Martins, A. A., Mata, T. M., Vegara, M., Pérez-Infantes, M., Remmani, R., Ruiz-Canales, A., & Núñez-Gómez, D. (2021). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Spent Coffee Grounds Oil Using Response Surface Methodology. *Processes*, 9(11), 2085. <https://doi.org/10.3390/pr9112085>
3. Stylianou, M., Agapiou, A., Omiro, M., Vyrides, I., Ioannides, I. M., Maratheftis, G., & Fasoula, D. (2018). Converting environmental risks to benefits by using spent coffee grounds (SCG) as a valuable resource. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 35776-35790. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2359-6>

Influencia de la humedad en el proceso de fabricación de paneles ecológicos de caña común (*Arundo donax* L.)

B.E. Ferrández-García¹, M. Ferrández-Villena¹, T. García-Ortuño¹, M.T. Ferrández-García¹

¹Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentario y Agroambiental (CIAGRO). Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España. Ctra. Beniel km 3,2. Orihuela (Alicante). m.ferrandez@umh.es

Palabras Clave: Valorización, residuos vegetales, tableros de partículas, propiedades mecánicas.

Resumen

La agricultura, a pesar de sus múltiples beneficios, genera una cantidad significativa de residuos que a menudo no se gestionan de manera óptima. La falta de una gestión adecuada puede llevar a problemas ambientales, como la contaminación del suelo y el agua, así como a problemas económicos por la mala administración de estos residuos., sin embargo, estos residuos ofrecen oportunidades para la sostenibilidad y la mejora del entorno agrícola. En los últimos años se han utilizado distintos residuos vegetales para la obtención de tableros de partículas con la intención de obtener nuevos materiales que ayuden a paliar el impacto ambiental y cuyo objetivo último es aumentar su valor añadido y disminuir los residuos. También se impone disminuir la utilización de adhesivos sintéticos y estudio de nuevos procesos de fabricación de tableros. En este trabajo se utiliza la caña común (*Arundo donax* L.), considerada como una mala hierba que se encuentra en muchas partes del mundo. Se han fabricado tableros de partículas aglomeradas de caña común sin adhesivos con 3 tamaños de partículas (de 0,25 a 1,00 mm, de 0,25 a 2,00 mm y de 1,00 a 2,00 mm) con diferentes proporciones de agua añadida (40, 50 y 60%) y aplicando una presión de 2,6 MPa y una temperatura de 150°C durante 10 min en la prensa de platos calientes. Se han realizado los ensayos de densidad, de resistencia a flexión (MOR, MOE), de cohesión interna o resistencia a tracción (IB) y de resistencia al arranque de tornillo (SH), según las normas EN de los tableros de madera. Con mayor adición agua y para las partículas de menor tamaño se obtienen las mejores prestaciones mecánicas.

Valorización de tableros de partículas del tronco palmera datilera (*Phoenix dactilifera*.)

B.E. Ferrández-García¹, M. Ferrández-Villena¹, T. García-Ortuño¹, M.T. Ferrández-García¹

¹Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentario y Agroambiental (CIAGRO). Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España. Ctra. Beniel km 3,2. Orihuela (Alicante). m.ferrandez@umh.es

Palabras Clave: residuos vegetales, paneles, ecológicos, propiedades físicas y mecánicas.

Resumen

Con el fin de reducir el consumo energético y disminuir el impacto ambiental se están desarrollando muchas investigaciones encaminadas a incrementar el uso de residuos como recursos renovables y ecológicos. En el sureste de España, la palmera datilera (*Phoenix dactilifera*) se utiliza ampliamente en el paisaje urbano. Las plantaciones afectadas por la plaga del picudo rojo de las palmeras generan numerosos residuos vegetales que deben ser triturados y transferidos a vertederos autorizados. En esta comunicación se presenta un proceso de fabricación de tableros de partículas ecológicos para valorizar los residuos del tronco de las palmeras datileras, actuación que pretende estar alineada con la Directiva marco sobre residuos encaminada a la mejora de la política mediambiental europea. El uso de materiales a base de fibras vegetales en la construcción puede paliar el problema de escasez de madera y mejorar la sostenibilidad del sector debido a que son fácilmente reciclables y no agresivos con el medio ambiente. El proceso de fabricación consistió en la utilización del tronco de la palmera triturado. Se fabricaron 64 tableros sin adhesivos, con una temperatura en la prensa de 130°C y una presión de 2.6 MPa. Se utilizaron cuatro tamaños de partículas (< 0,25 mm, de 0,25 a 1,00 mm, de 1,00 a 2,00 mm y de 2,00 a 4,00 mm) y 4 tiempos de fabricación (7, 15, 30 y 60 min), obteniendo 16 tipologías de tableros con un espesor medio de 7 mm. Posteriormente se midieron sus propiedades mecánicas y físicas de acuerdo con las normas EN. Se obtuvieron tableros tipo P2 (tableros para interior en ambiente seco) con partículas menores de 0.25 mm y tiempo de 60 min (11,7 N/mm² MOR, 1809.7 N/mm² MOE y 0.61 N/mm² IB). Los tableros propuestos aportan como ventaja estar libres de emisiones de formaldehído y no consumir recursos fósiles, además de la utilización de un residuo.

Influencia del cambio climático en el rendimiento de tomate para industria del bajo Guadalquivir

M.C. López-Gordillo¹, E. Ramírez-Juidias¹, J.M. Madueño-Luna¹, A. Madueño-Luna¹

¹Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad de Sevilla. España. Ctra. de Utrera km 1. 41013, Sevilla. erjuidias@us.es

Palabras Clave: Cambio climático, algoritmos evolutivos, agricultura de precisión por satélite, sector B XII del bajo Guadalquivir.

Resumen

El tomate es uno de los cultivos de hortalizas más importantes cultivados en diferentes climas. A consecuencia del calentamiento global, el estrés por calor puede afectar gravemente tanto a la calidad del fruto como al rendimiento total. Actualmente, es posible obtener información confiable del estado del cultivo a través de herramientas teledetectadas, las cuales permiten, junto con el uso de modelos matemáticos predictivos, inferir el rendimiento. En el presente trabajo, se llevó a cabo un estudio sobre rendimiento de la variedad Juncal, en la parcela de ensayo 41-053-18-33 de Lebrija, situada en el Bajo Guadalquivir. Para ello, fue tenido en cuenta el modelo climático local en base al último informe de expertos en cambio climático. Igualmente, se adquirieron un total de 857 imágenes de los satélites Landsat LC8 y Sentinel-2 L2A, cuyos píxeles se complementaron con información climática histórica, además de con los datos obtenidos durante el periodo de ensayo (2018-2021). Toda esta información alimentó a un algoritmo evolutivo, a través del cual se llegó a una ecuación predictora de rendimiento ($r = 0.903$, $R^2 = 0.79$, $p \leq 0.001$), basada en el NDVI medio del periodo de recolección. De los tres escenarios considerados, el correspondiente al estado de 15 días antes de periodo de recolección arrojó los mejores resultados (100.71 tn/ha). También se llevó a cabo una predicción futura del rendimiento, infiriéndose un valor medio, a consecuencia del cambio climático, de 76.77 tn/ha para el periodo 2071-2100. En conclusión, para lograr un mejor uso del agua de riego, es evidente que las técnicas basadas en riego deficitario pueden ser una alternativa con la que paliar, en parte, los efectos del aumento de temperatura y disminución de precipitaciones.

Modelización del crecimiento radicular del Bimi[®] a partir de fotografía digital cenital

J.C. Abellaneda Pividal¹, D.G. Fernández-Pacheco^{1*}, V.M. Gallegos-Cedillo², J.M. Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

² Grupo de investigación de Hortofloricultura Mediterránea, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203, Cartagena, Murcia.

* Autor para correspondencia: daniel.garcia@upct.es

Palabras clave: agricultura de precisión, desarrollo de la raíz, procesamiento digital de imágenes, brócoli.

Resumen

El crecimiento radicular es un indicador crítico del estado de salud y desarrollo de los cultivos, permitiendo además estimar las necesidades de riego. Esta comunicación presenta una metodología innovadora para la estimación del crecimiento radicular a partir de la fracción de cobertura vegetal (FCV) utilizando fotografía digital cenital en un cultivo de Bimi[®], un híbrido entre el brócoli convencional y el brócoli chino o kailan, con un sabor dulce y suave.

Empleando una cámara digital, se capturaron imágenes de alta resolución de varias parcelas de Bimi[®] en diferentes etapas de desarrollo. Las imágenes fueron preprocesadas y segmentadas utilizando el software de visión ENVI[®] Classic. Posteriormente se desarrollaron modelos predictivos que correlacionan la FCV con las características del crecimiento radicular, validados con datos de muestreo físico del sistema radicular.

Los resultados revelan una correlación significativa entre los indicadores vegetativos observables en las imágenes y el desarrollo subterráneo de las raíces, permitiendo estimaciones precisas y no invasivas del crecimiento radicular. Esta metodología proporciona una herramienta valiosa para el monitoreo continuo y eficiente del crecimiento radicular, optimizando las prácticas de manejo agrícola y la toma de decisiones basada en datos.

Respuesta agronómica y gestión del riego para un cultivo de Bimi®

J.C. Abellana Pividal¹, V.M. Gallegos-Cedillo^{2*}, C.P. García-Ripoll¹, D.G. Fernández-Pacheco¹, M. Soler-Méndez¹, J.M. Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia.

² Grupo de investigación de Hortofloricultura Mediterránea, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203, Cartagena, Murcia.

* Autor para correspondencia: victor.gallegos@upct.es

Palabras clave: Soluciones basadas en datos, sensores edafoclimáticos, agricultura de precisión, riego, internet de las cosas.

Resumen

El Bimi®, también conocido como broccolini o baby broccoli, es un híbrido entre el brócoli y el kai-lan (brócoli chino), reconocido por su sabor suave y su alto valor nutricional. La gestión adecuada del riego es crucial para maximizar el rendimiento y la calidad de este cultivo. El objetivo de esta investigación ha sido utilizar sensores de presión y humedad del suelo junto con el empleo de las tecnologías IoT, con el fin de recopilar variables edafoclimáticas y relacionarlas posteriormente con el desarrollo fenológico del cultivo de Bimi®. El experimento se llevó a cabo en una finca comercial de Bimi® ciclo otoño-invierno situada en la localidad de Lorca, Murcia (España). Las distintas variables edafoclimáticas se recogieron mediante sensores de humedad del suelo y tensiómetros. Los datos climáticos se registraron a través de una estación meteorológica in situ. Se analizaron las medidas morfométricas de planta y el rendimiento final. También, se determinó el área foliar, el nivel de clorofila SPAD y el contenido iónico en planta. Por otro lado, se cuantificó y analizó el aporte nutricional del fertirriego semanalmente. Los resultados ecofisiológicos obtenidos de las plantas permitieron correlacionar las variables agroclimáticas con la optimización de la gestión del riego, mejorando así el uso eficiente del agua y nutrientes.

Seguimiento de la transpiración del almendro mediante técnicas de medida de flujo de savia y balance de energía en superficie.

Llanos Simón^{1*}; Vanesa Jiménez¹; Ramón López-Urrea²; Juan Manuel Sanchez³; Francisco Montoya¹; José González-Piqueras³; Álvaro Virosta³; Ignacio Buesa²

¹ Instituto Técnico Agronómico Provincia (ITAP), Parque Empresarial Campollano, 2º Avda. N.º 61, 02007, Albacete, España. lsj.itap@dipualba.es

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), CSIC-UV-GVA. Carretera CV-315, km 10.7, 46113-Moncada, Valencia, España.

³ Department of Applied Physics, Regional Development Institute (IDR), Universidad de Castilla-La Mancha, Av. España, s/n, 02071 Albacete, España.

Palabras Clave: Riego, coeficientes de cultivo, sensores, goteo superficial, subterráneo.

Resumen

En los últimos años, se ha producido un crecimiento exponencial de la superficie cultivada de almendro en la zona de estudio (Castilla-La Mancha), con una tendencia cada vez mayor a plantaciones en regadío. Este hecho, unido al cambio climático y la escasez de recursos hídricos, nos obliga a optimizar el manejo del agua en este cultivo. Con estos condicionantes, en muchas ocasiones no es posible satisfacer plenamente las necesidades hídricas del almendro, por lo que conocer la transpiración del cultivo (T_c) y derivar sus coeficientes de cultivo es fundamental para mejorar la programación del riego en estas plantaciones. El objetivo de este estudio fue medir la transpiración de árboles adultos de almendro y contrastar estas medidas con las estimaciones de T_c obtenidas a través de una versión simplificada de un modelo de dos fuentes del balance de energía en superficie (STSEB). Para ello se instalaron sensores de flujo de savia en la campaña 2023, sobre una plantación de almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) adultos de 12,5 ha ubicada en Hellín (Albacete). La plantación se realizó en 2018, utilizando el cultivar Penta injertado sobre el patrón GF-677, con un marco de 5 x 6 m (333 árboles/ha) y regados por goteo superficial y subterráneo. La parcela está dotada de una estación meteorológica y un conjunto de radiómetros térmicos que permiten caracterizar las temperaturas de la planta y del suelo, necesario para aplicar el modelo de balance de energía. Para las medidas de flujo de savia, se ha utilizado el sistema IAS CHP-AG FSES+ desarrollado por el IAS-CSIC de Córdoba (Testi y Villalobos 2009). Se instalaron dos sensores por árbol y en dos árboles de cada tratamiento (goteo superficial y subterráneo). Se siguió una programación de riegos basada en balance de agua en el suelo, evitando cualquier tipo de estrés hídrico.

Los valores máximos de T_c medida se registraron en el mes de agosto, con valores medios oscilando entre 2,54 y 4,32 mm/día en riego superficial y 2,75 y 4,78 mm/día en subterráneo. No se apreciaron diferencias significativas entre riego superficial y subterráneo. La comparativa con los valores estimados a través de STSEB muestran una sobreestimación de la T_c con un promedio de 0,81 mm/día y 0,64 mm/día en el tratamiento superficial y subterráneo, respectivamente, cuya desviación se situó en el orden de 1.37 mm/día en ambos tratamientos.

Los resultados de este estudio muestran la viabilidad del uso de sensores de flujo de savia para el seguimiento de la transpiración en el cultivo del almendro adulto y, por tanto, como herramienta para estimar coeficientes de cultivo basal, así como para evaluar la partición de la evapotranspiración que los modelos de balance de energía realizan entre las componentes evaporativa y transpirativa.

Análisis, diseño y cálculo de una instalación de alumbrado inteligente en sistemas agrovoltaicos de cultivos hortícolas.

Antonio Rodríguez Nicolás¹, Francisco J. Cánovas Rodríguez², y José Miguel Molina-Martínez¹

¹ Grupo de investigación de Ingeniería Agromótica y del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena, C/ Ángel s/n, Ed. ELDI E1.06, 30203, Cartagena, Murcia. antonio.rodriguez@edu.upct.es, <mailto:josem.molina@upct.es>

² Dpto. de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, C/Doctor Fleming s/n, 30202, Cartagena, Murcia. fcojavier.canovas@upct.es

Palabras clave: agrovoltaica, cultivos hortícolas, placas solares móviles, viabilidad económica, autoconsumo energético, control de iluminación led.

Resumen

Ante la creciente necesidad de optimizar los recursos de agua y energía en el sur de Europa, y en particular en el sureste español, donde el alto potencial fotovoltaico se debe a la gran cantidad de horas de luz solar diaria, surge la posibilidad de fusionar la producción agrícola con la generación de energía. Este terreno, ya productivo en términos de cultivos hortícolas, tiene el potencial de integrarse con la producción eléctrica a través de lo que se denomina "Agrovoltaica", una innovadora rama que permite la coexistencia de ambas actividades. Esta integración plantea una serie de preguntas y desafíos que requieren soluciones variadas y específicas. En el presente trabajo, se aborda un aspecto que, aunque ha sido estudiado en entornos cerrados como invernaderos, ha recibido poca atención en entornos abiertos.

En nuestro caso, la propuesta consiste en una estructura de aproximadamente 4,5 metros de altura, que permite el paso de maquinaria agrícola sin interferencias, y que albergará una instalación fotovoltaica innovadora en su cubierta. La característica distintiva de este sistema es que la mitad de las placas solares son móviles, lo que nos permite gestionar su movimiento con el fin de optimizar el rendimiento del cultivo, que es la prioridad, junto con la generación de la máxima energía eléctrica posible.

Se presentan situaciones en las que puede ser más eficiente cerrar completamente las placas móviles, bloqueando así la entrada de luz natural al cultivo, o bien, abrirlas parcialmente, creando áreas de sombra y luz directa. Dada esta compleja dinámica, se ha diseñado una instalación de iluminación artificial basada en tecnología LED, con el objetivo de asegurar que, independientemente del grado de apertura de las placas, el cultivo reciba siempre el aporte lumínico adecuado para su desarrollo óptimo. Este sistema evitará tanto la sobreexposición como la insuficiencia de luz. Para lograr esto, se han considerado aspectos como el consumo energético, la eficiencia lumínica, el espectro y la temperatura de color de las lámparas. Además, se plantea un control automatizado de las luminarias, apoyado por sensores estratégicamente ubicados, que permitirá regular la intensidad de la iluminación según las necesidades del cultivo en cada momento.

Este análisis, diseño y cálculo forman parte de una solución integral cuyo objetivo es asegurar la viabilidad económica de la instalación, haciendo que la propuesta sea rentable y sostenible a largo plazo en el sector hortícola. En definitiva, este trabajo presenta el método seguido, las dificultades encontradas y las soluciones alcanzadas para obtener el máximo rendimiento tanto del cultivo como de la instalación fotovoltaica. Así, no solo se cubrirán las necesidades de autoconsumo energético (un porcentaje mínimo destinado al alumbrado), sino que también se generará un excedente de electricidad que podrá ser comercializado, unificando la producción agrícola y energética en este innovador modelo "Agrovoltaico".

Influencia del sombreado sobre los cultivos de acelga, borraja y puerro

Aurora Arroyo-García¹, José Casanova-Gascón², Pablo Martín-Ramos¹, Luis Manuel Navas-Gracia^{1,*}

¹ Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid. ETSIIAA, Avenida de Madrid 44, 34004 Palencia

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universidad de Zaragoza. EPS, Carretera de Cuarte s/n 22071 Huesca.

*Autor de correspondencia: luismanuel.navas@uva.es

Palabras clave: sombreado, SketchUp, Skelion, AquaCrop, acelga, borraja, puerro

Resumen

La agrovoltaica, que combina la producción agrícola con la generación de energía solar, emerge como una solución prometedora para optimizar el uso del suelo y mejorar la eficiencia de los recursos. Este estudio investiga la influencia del sombreado parcial en la producción de tres cultivos —acelga, borraja y puerro— en Tabernas de Isuela, Huesca. La estructura de un sistema de agrovoltaica con instalaciones fijas sobre el cultivo se simuló mediante lonas de sombreado (80% de opacidad) sobre una de las aguas del tejado de un antiguo invernadero. Se utilizó SketchUp con la extensión Skelion para modelar la estructura y calcular la reducción de radiación solar incidente, y AquaCrop para estimar el crecimiento de cultivos con y sin sombreado. Los resultados de las simulaciones mostraron pérdidas de radiación entre 33,8% y 45,9%, dependiendo de la época del año, con reducciones asociadas en la producción de biomasa de 7,9% a 8,5% bajo condiciones de sombreado: de 10,7 a 9,8 t/ha en acelga, de 8,2 a 7,5 t/ha en borraja, y de 10,1 a 9,3 t/ha en puerro. Sin embargo, el sombreado redujo la evapotranspiración y mejoró la eficiencia en el uso del agua entre un 16,7% y 20,6% (de 3,6 a 4,2 kg/m³ para la acelga, de 3 a 3,6 kg/m³ para la borraja, y de 3,4 a 4,1 kg/m³ en el puerro). Los resultados experimentales de una campaña mostraron pérdidas de peso mayores que en las simulaciones, especialmente en acelga (15,3–22,2%) y puerro (18,3–33,2%). Estos hallazgos sugieren que la metodología propuesta puede ser útil para optimizar sistemas agrovoltaicos, aunque se requiere un ajuste cuidadoso de los parámetros de AquaCrop.

Sesión 8

Otras investigaciones y avances en Ingeniería Hortícola

Two-dimensional real-time computational fluid dynamics for Almeria-type greenhouses

Zhang Chunhao

1. Department of Informatics, ceiA3, CIESOL,
Ctra. Sacramento s/n, University of Almería,
Almería, Spain

*Autor para correspondencia: cz917@inlumine.ual.es

Keywords: Greenhouse horticulture, real-time monitoring, Computational Fluid Dynamics.

Abstracts

The field of greenhouse horticulture is increasingly using visualisation techniques to improve production monitoring and to reflect the behaviour and state of its production cycle in virtual space, with a focus on achieving real-time monitoring and full coverage of the greenhouse landscape. In this context, finite volume discretisation methods are considered to be beneficial to describe the distribution of differences across the greenhouse. This paper brings together the author's contributions to the field over the period of his PhD thesis up to February 2024, which is based on the simulation of a Computational Fluid Dynamics (CFD) methodology for the actual construction of an Almeria greenhouse at a scale of 1:1, with data linking to Matlab using Tui and Scheme commands, and providing regulation similar to that of an actual greenhouse to fit the actual physical phenomena. The simulation results were combined for one hour, and the simulation errors for air temperature and relative humidity were less than two degrees and six percents, respectively.