

DEL LABORATORIO AL CAMPO: REVOLUCIONARIO SISTEMA DE RIEGO SOSTENIBLE CON TECNOLOGÍA DE RECUPERACIÓN HÍDRICA Y NUTRICIONAL

**Dámaris Núñez-Gómez^{1*}, Pilar Legua¹, Juan José Martínez-Nicolás¹, Vicente Lidón¹,
Agustín Conesa¹, Francisco García², Joaquín Melgarejo³ y Pablo Melgarejo¹**

1: Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández.
Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO). Ctra. de Beniel km 3,2. 03312. Orihuela.
e-mail: dnunez@umh.es

2: Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Consejo Superior de Investigaciones
Científicas, 30100 Murcia.

3: Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Alicante. Carretera
San Vicente del Raspeig s/n, San Vicente

Palabras clave: Autosuficiencia hídrica; economía circular; agricultura sostenible; reutilización de nutrientes; agricultura precisión.

Introducción y Objetivo

El regadío en la agricultura, fundamental en regiones de lluvias escasas, ha evolucionado desde sus comienzos modestos hasta un desarrollo extraordinario en los últimos 123 años. En España, el regadío ha experimentado un crecimiento notable, pasando de 900,000 hectáreas a 3,877,901 hectáreas en 2021 (ESYRCE, 2021), destacando en Andalucía, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Aragón y Comunidad Valenciana. La tecnificación, especialmente con el riego por goteo, ha sido clave, aunque la salinización del suelo y la sobreexplotación de acuíferos plantean desafíos a la sostenibilidad. En la región mediterránea, la falta de agua para el regadío, el cambio climático y la dependencia energética de Europa requieren estrategias para optimizar agua, fertilizantes y energía. La crisis energética reciente ha resaltado la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria en Europa. Ante esto, el **Proyecto SIRIS** emerge como respuesta científica, enfocado en un sistema de riego eficiente y sostenible, utilizando herramientas digitales para maximizar la eficiencia productiva y la calidad de los cultivos. El proyecto busca un uso racional de recursos mediante la recuperación del drenaje y el reaprovechamiento de subproductos, adaptándose al cambio climático y consolidando fuentes hídricas alternativas. Este enfoque integral no solo minimiza la contaminación y contribuye a la economía circular, sino que también ayuda a reducir los efectos de sequías e inundaciones. Con el diseño experimental propuesto, se busca optimizar insumos y recoger agua y nutrientes en exceso durante lluvias abundantes. Así, el sistema ensayado permite recuperar el agua excedente y los nutrientes, recirculándolos para su reutilización, contribuyendo a la preservación de recursos hídricos y reduciendo problemas medioambientales asociados al regadío intensivo.

Proyecto SIRIS

La Directiva Marco del Agua abraza la premisa de que nuestro líquido vital es un patrimonio a salvaguardar, crucial en un mundo donde la demanda de agua crece rápidamente. El aumento anual del 1% en el consumo de agua, más del doble del crecimiento demográfico del Siglo XX, ha tejido una red de estrés hídrico global. Las proyecciones sugieren que para 2050, algunos países podrían enfrentarse a una disminución del 50% en la disponibilidad de agua potable, con consecuencias significativas en

calidad de vida, pérdidas económicas, flujos migratorios y posibles conflictos diplomáticos. En este panorama, la agricultura, principal consumidora de agua, se enfrenta al desafío de repensar sus métodos de manera sostenible mientras aumenta la producción. Surge el Proyecto SIRIS, centrado en diseñar un sistema de riego sostenible que optimice recursos como agua, nutrientes y energía, incorporando la recopilación inteligente del excedente de agua en momentos de abundancia pluvial.

El Proyecto SIRIS, se centra en la citricultura, especialmente en naranjos 'Navelina' sobre el patrón *Citrus macrophylla*. Este proyecto no solo impacta en el ámbito académico, sino también en el tejido sociopolítico al optimizar sistemas de fertirrigación y contribuir a la estabilidad del sector agrícola. Los impactos proyectados del Proyecto SIRIS abarcan desde la reducción del consumo de agua y energía hasta la disminución en el uso de fertilizantes, prometiendo aliviar costos de cultivo. La recuperación de agua de lixiviación, rica en nutrientes, no solo reduce la contaminación ambiental, sino que también se convierte en un recurso valioso para la fertilización. Estos impactos, junto con la mejora de las condiciones de cultivo y la eficiencia de las plantas, apuntan hacia una agricultura más sostenible y rentable. En cuanto al diseño experimental, la parcela en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO-UMH) sirve como terreno fértil para evaluar resultados y trazar un nuevo camino hacia la agricultura del mañana. Este enfoque experimental no solo busca la eficiencia en la gestión de recursos, sino también impulsa el conocimiento y la aplicación práctica de tecnologías avanzadas en agricultura. El Proyecto SIRIS implementa una infraestructura avanzada para garantizar el éxito del experimento, con una electrobomba adicional, depósitos y electroválvulas dedicadas a cada sector de riego. Sondas avanzadas y una estación meteorológica proporcionan datos detallados, conectados a un controlador de fertirrigación para la entrega precisa de agua y nutrientes. La conectividad a la nube permite el almacenamiento centralizado de datos y la gestión remota completa del cultivo, redefiniendo la forma de cultivar hacia un futuro donde la precisión y la sostenibilidad van de la mano.

Resultados y conclusión

Los resultados preliminares del Proyecto SIRIS en la región sureste de España son prometedores, destacando soluciones innovadoras para la gestión sostenible del agua en la agricultura. Con un enfoque en la eficiencia hídrica, las tesis con malla antihierba han demostrado ahorros notables entre el 46.5% y el 65.2% en comparación con la tesis testigo, gracias a la retención del agua en el suelo. La recolección de agua de lluvia ha sido crucial, logrando ahorros significativos y consolidando la eficiencia en la captura de recursos hídricos naturales. En cuanto a la calidad del agua de drenaje, se registra una mejora con una conductividad eléctrica (CE) media de 1,42 dS/m, en comparación con el agua de riego convencional del río Segura con una CE de 1,68 dS/m. Este resultado sugiere la viabilidad de mejorar la calidad del agua mediante la integración de fuentes hídricas diversas. El impacto en las dimensiones de los árboles es positivo, con un aumento significativo en el diámetro de la copa y el tronco en las tesis con malla antihierba y sistema de drenaje, beneficiando el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las conclusiones preliminares resaltan la importancia del Proyecto SIRIS en la mejora de la eficiencia hídrica y medioambiental en la agricultura del sureste español. La recolección eficiente de agua, el ahorro en su consumo y los beneficios observados en las dimensiones de los árboles subrayan la viabilidad y relevancia de este proyecto. Aunque los resultados deben ser confirmados a lo largo de los años, el Proyecto SIRIS se posiciona como un referente para un futuro agrícola más resiliente y equilibrado, abordando desafíos actuales y estableciendo un camino hacia la sostenibilidad. Más información y novedades del Proyecto SIRIS en nuestras redes sociales X <https://twitter.com/AgroAlnextSIRIS>, LinkedIn www.linkedin.com/in/siris-agroalnext-0b1700294, y en nuestro blog <https://proyectosiris.umh.es/>.

Referencias

ESYRCE - Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (2021). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del programa AGROALNEXT (AGROALNEXT2022/013) y fue respaldado por el MCIN con financiamiento de la Unión Europea a través de NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Generalitat Valenciana.

Diseño de un Gemelo Digital para el Control Climático en un Invernadero de Cannabis sativa: Un Estudio de Caso de Uso en la Universidad de Alicante

Ferrández-Pastor Francisco-Javier^{1*}, Pardo-Pina Sofía², Rocamora Carmen², Alcañiz-Lucas Sara¹, Puerto Herminia² y Cámara-Zapata José M.²

1: Grupo I2RC, EPS Universidad de Alicante
Carretera San Vicente s/n 03690
fjferran@ua.es

2: Instituto de Investigación en Innovación Agroalimentaria y Agroambiental, CIAGRO, Universidad Miguel Hernández, Ctra de Beniel, s/n, 03312, Orihuela, Alicante

Palabras clave: Inteligencia Artificial, control inteligente, aprendizaje por refuerzo, IoT.

Introducción y objetivo: Un gemelo digital en el contexto de un invernadero se refiere a una réplica virtual detallada del invernadero físico [1]. Este modelo digital se basa en datos recogidos de sensores y sistemas IoT en tiempo real, simulando con precisión el entorno y las operaciones del invernadero. Los datos capturados permiten diseñar una función objetivo capaz de predecir el comportamiento de las variables climáticas del invernadero en función del setpoint introducido a la instalación de control climático. Si a esta predicción le incorporamos un algoritmo que ajuste de forma automática el setpoint, mediante aprendizaje por refuerzo [2], para reducir el consumo energético, estaremos optimizando el sistema mediante un sistema virtual, el cual refleja el comportamiento físico real.

Material y métodos: Este trabajo sigue la línea de investigación del proyecto CANNADIG en un invernadero automatizado del parque científico de la Universidad de Alicante. En esta instalación, el sistema de climatización se controla a partir de la selección del setpoint de las condiciones climáticas deseadas. Los actuadores que forman parte de este sistema de regulación son: una máquina de aire acondicionado, apertura-cierre de ventanales, malla de sombreado y sistema fog-system de control de la humedad. El técnico especialista recibe la necesidad de las condiciones climáticas (temperatura-humedad) del cultivo a lo largo de la jornada. Se parte de la captura de datos ambientales mediante el uso de sensores IoT. Se registran también datos externos climáticos que forman parte del dataset. Finalmente, se incorporan los valores del setpoint para el control de la temperatura seleccionada, que será la referencia a la máquina de clima. Al mismo tiempo, con un sensor de consumo, se obtiene y registra el consumo eléctrico de la instalación. Todo ello de forma horaria. Cada hora el técnico puede programar un nuevo setpoint en función de su experiencia. El algoritmo reproduce el comportamiento de control del técnico simulando el comportamiento ambiental, ajustando el valor elegido para reducir el consumo energético. El sistema simulado permite analizar estrategias de control utilizando parámetros de entrada al sistema como la temperatura de consigna y las acciones correctoras que sobre ella el sistema puede realizar de forma automática para optimizar el consumo energético.

Resultados y conclusión: Se utiliza el algoritmo de aprendizaje Q-Learning mostrado en la Tabla 1. El algoritmo computa cada hora la acción con mayor recompensa (menor consumo) en función de las condiciones ambientales modeladas del interior y de las predicciones meteorológicas del exterior.

Algorithm 1 Q-learning: Learn function $Q : \mathcal{X} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$

Require:

States $\mathcal{X} = \{1, \dots, n_x\}$

Actions $\mathcal{A} = \{1, \dots, n_a\}$, $A : \mathcal{X} \Rightarrow \mathcal{A}$

Reward function $R : \mathcal{X} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$

Learning rate $\alpha \in [0, 1]$, $\alpha = 1$

Discounting factor $\gamma \in [0, 1]$

procedure QLEARNING(\mathcal{X} , \mathcal{A} , R , T , α , γ)

Initialize $Q : \mathcal{X} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$ arbitrarily

while Q is not converged **do**

Start in state $s \in \mathcal{X}$

while s is not terminal **do**

Calculate π according to Q and exploration strategy

$a \leftarrow \pi(s)$

$r \leftarrow R(s, a)$

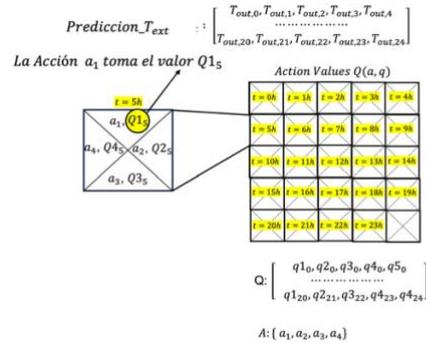
▷ Receive the reward

$s' \leftarrow T(s, a)$

▷ Receive the new state

$Q(s', a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \cdot (r + \gamma \cdot \max_{a'} Q(s', a'))$

return Q



Las Acciones se computan en el GEMELO DIGITAL (GD)
El GD permite evaluar las acciones

Tabla 1. Algoritmo de aprendizaje por refuerzo

El resultado final se registra en una tabla en la que se muestran los valores Q para cada hora del día, (Tabla 1) en función de los datos obtenidos del dataset. Este cálculo se realiza en cada tramo temporal actualizando los valores y determinando cuál es la acción que más interesa en cada momento. Se trata de una simulación que representa la evolución real en el invernadero.

Como conclusión de demuestra la aplicabilidad de técnicas de captura de datos mediante IoT, la predicción temporal de las condiciones meteorológicas externas y la integración de un algoritmo de aprendizaje. El conjunto permite desplegar un servicio digital de simulación utilizado para optimizar el consumo energético del invernadero, con unas características y modo de funcionamiento propias de un Gemelo Digital. Este método puede utilizarse para cada tipo de instalación, adaptándose a los datos obtenidos mediante sensores IoT, y la capacidad de control climático instalado que marcará la simulación adaptada. La metodología se puede extender a otro tipo de funcionalidades que puedan formar parte de un GD para simular y optimizar la producción.

Referencias

[1] Fatima K, Hussain S, Khan SA, Khan MA, Saleem SR, Kanwal S. Digital Twin Greenhouse Technologies for Commercial Farmers. *Environmental Sciences Proceedings*. 2022; 23(1):33. <https://doi.org/10.3390/envirosciproc2022023033>

[2] Zhang, W., Cao, X., Yao, Y., An, Z., Luo, D., & Xiao, X. (2021). Robust Model-based Reinforcement Learning for Autonomous Greenhouse Control. *ArXiv, abs/2108.11645*.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del programa AGROALNEXT (AGROALNEXT/2022/048) y ha sido apoyado por MCIN con financiación de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y de la Generalitat Valenciana. La autora Carmen Rocamora ha sido financiada por el Ministerio de Universidades y por la Unión Europea-Next Generation EU en el marco de las Ayudas para la Recualificación del Sistema Universitario Español, en la modalidad Recualificación del profesorado universitario funcionario o contratado.

HERRAMIENTAS DIGITALES PARA PROMOVER LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR AGROALIMENTARIO

Sheila Sánchez Artero^{1*}, Pedro Amorós² y Jose V. Ros Lis¹

1: Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM), Grupo de investigación REDOLÍ, Universidad de Valencia.

Carrer del D. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia.

e-mail: sheila.sanchez@uv.es

2: Instituto Universitario de Ciencia de los Materiales (ICMUV), Universidad de Valencia, 46980 Paterna, Valencia.

Palabras clave: Sensores ópticos, sensores electroquímicos, nariz electrónica.

En el ámbito agroalimentario, existen diversos desafíos que pueden enfrentarse mediante la aplicación de herramientas digitales, como las narices electrónicas. Este tipo de sistemas se basa en un array de sensores, lo cual mejora su selectividad en entornos complejos como los agroalimentarios.

El sistema desarrollado combina sensores ópticos y electroquímicos. Los sensores electroquímicos son de tipo semiconductor, y se han implementado sistemas automatizados de toma y envío de datos. Los sensores ópticos se basan en reactivos cromofluorogénicos. Estos materiales son seleccionados previamente, sintetizados y preparados sobre tres soportes inorgánicos específicos: UVM-7, sílice y alúmina. Los cambios de color y/o fluorescencia pueden ser detectados de manera fácil a simple vista o usando diferentes sistemas de captura de imagen.

Debido a la considerable cantidad de datos recopilados durante los ensayos, se lleva a cabo un análisis multivariante exhaustivo para profundizar en la información proporcionada por los diversos sensores evaluados. Se emplean técnicas como el análisis de componentes principales (PCA), se generan dendrogramas mediante el análisis de clúster, y se realiza la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS). Estas metodologías permiten una comprensión más detallada de la compleja interacción de datos y facilitan la interpretación de patrones significativos.

Se han abordado con éxito varios desafíos en el sector agroalimentario mediante el desarrollo e implementación de narices electrónicas. Un ejemplo destacado es la capacidad para realizar la detección temprana de plagas clave en la citricultura. Otro aspecto en el que estos tipos de herramientas digitales han demostrado su utilidad es en la monitorización del proceso de envejecimiento del compostaje.

Agradecimientos: Este estudio ha contado con el apoyo de la subvención del programa AGROALNEXT apoyado por el MCIN, la Unión Europea Next Generation (PRTR-C17. I1), por la Generalitat Valenciana, referencia EUAGROALNEXT/2022/065; y el proyecto SENSOPLAG (INNEST/2021/108) financiado por la Agencia Valenciana de Innovación.

ANÁLISIS DE METODOLOGÍA DE TOMA DE DATOS CON DRON EMBARCANDO DIFERENTES SENSORES PARA LA GENERACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Israel Quintanilla^{1*}, Jordi Vidal¹, Carlos Puig¹, Gorka Perpiñá², Miguel Bracho Gil²,
Silvia Ramos², Miguel Ezquerro², María José Díez², Santiago García-Martínez³, Juan José
Ruíz-Martínez³, Ana Pérez-de-Castro² y Belén Picó Sirvent²

1: Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPV, Camino de Vera s/n. iquinta@cgf.upv.es

2: Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV), Universitat
Politécnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia (España).

3: Departamento de Biología Aplicada. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel
Hernández, Avda. Universidad s/n, 03202, Elche, Alicante (España).

e-mail: iquinta@cgf.upv.es

Palabras Clave: Dron, NDVI, Cucurbitáceas, digitalización, estrés abiótico

Introducción y objetivo

La familia de las Cucurbitáceas es la segunda familia de hortícolas más importante a nivel económico y social en el mundo. Incluye cultivos como el melón, la sandía, el pepino y las calabazas y calabacines. Se trata de cultivos de verano, que se ven muy afectados por los cambios climatológicos, como la escasez de agua, las altas temperaturas o la salinización de los acuíferos y los suelos agrícolas. En el marco de los proyectos AGROALNEXT/2022/025, PROMETEO 2021/072 y TED 2021-132130B-I00, se está analizando, empleando distintas aproximaciones, la respuesta a estrés biótico de colecciones de variedades tradicionales de estos cultivos. El análisis masivo de los recursos genéticos disponibles se ve enormemente facilitado por el empleo de estrategias digitales que optimicen los fenotipados. Para ello, el grupo de Mejora genética de Cucurbitáceas del COMAV trabaja conjuntamente con el grupo de trabajo de drones de la UPV, WUAS-UPV, para implementar estrategias de fenotipado de plantas sometidas a estrés mediante el empleo de drones. Se han realizado una serie de vuelos de drones y tomas de datos en diferentes jornadas en las ubicaciones de Alcàsser (ensayo de estrés hídrico) y Elche (ensayo de estrés salino) para el análisis de aproximadamente 500 variedades tradicionales de cucurbitáceas ensayadas dentro del marco del proyecto de investigación AGROALNEXT.

El objetivo ha sido comprobar **la mejor metodología para analizar el estado vegetativo mediante sensores multiespectrales, térmicos y RGB** para la toma de datos de agricultura de precisión, con el fin de extraer índices de vegetación (NDVI, SAVI, CVSI) de las variedades, aportando datos cuantitativos para el análisis de propiedades agrícolas, como el **nivel de clorofila, la temperatura, el estrés hídrico o la sanidad vegetal**.

Material y métodos

Para la captación de datos se han utilizado dos drones, un *DJI MATRICE 300 RTK*, con una *Zenmuse H20T* para la obtención del modelo digital de elevaciones y ortofotos de alta precisión y un *DJI Phantom 4 RTK* Multiespectral para la obtención del NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) con posicionamiento RTK para mejorar su precisión (Figura 1). Se realizaron cuatro vuelos en Alcàsser, donde las plantas se estaban cultivando en condiciones control y en condiciones de estrés hídrico (en las fechas 15/05, 09/06, 30/06 y 21/07 de 2023) y tres en Elche, donde las plantas se estaban cultivando en condiciones de estrés salino (en las fechas 16/05, 26/06 y 18/07 de 2023). Se obtuvieron datos en las

diferentes campañas de vuelo con el fin de modelar el volumen del cultivo y comprender su estado físico y de crecimiento en diferentes series temporales, así como el estrés y vigor de las plantas.

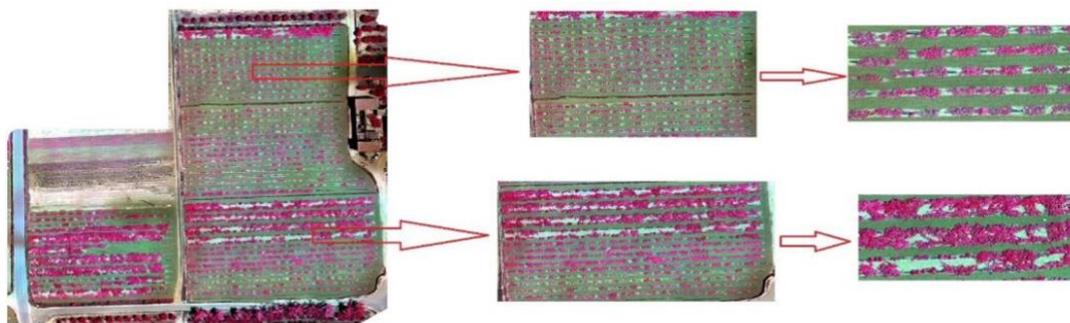


Figura 1. Aislamiento del terreno/vegetación mediante sensor multispectral

A partir de las tomas aéreas, se generan los siguientes productos para cada plantación:

- **Ortofoto de alta resolución:** 1 cm GSD (Distancia de muestra del suelo, distancia entre el punto central de dos píxeles consecutivos), para el conteo de flores y la clasificación del terreno
- **Ortofoto multispectral:** Para obtener índices vegetativos
- **MDSn:** Modelo digital de superficie en el que se separa el terreno de la cubierta foliar con el fin de extraer los volúmenes de vegetación. Este modelo se extrae de la resta del MDT (Modelo Digital del Terreno: modelo tridimensional del terreno sin cubierta vegetal) y el MDS (Modelo Digital de Superficies: Modelo tridimensional que contiene todos los elementos).

Resultados y conclusión

Se han obtenido todos los productos mencionados y actualmente se están calculando los índices de vegetación para las variedades de estudio y así poder generar una base de datos en el que se incluirán los datos relativos al NDVI para las distintas campañas de campo y así poder analizar las tendencias del crecimiento y desarrollo vegetal de las especies analizadas.

Debido a la baja altura de la masa foliar resulta complejo realizar un cálculo de volúmenes por lo que para próximas iteraciones de la metodología se añadirá un sensor LIDAR para la obtención del MDSn en vez de por fotogrametría.

Referencias

A. Kalantar, Y. Edan, A. Gur, I. Klapp, “A deep learning system for single and overall weight estimation of melons using unmanned aerial vehicle images” *Computers and Electronics in Agriculture* Volume 178, November 2020, 105748

S. Eh Teet, N. Hashim, “Recent advances of application of optical imaging techniques for disease detection in fruits and vegetables: A review”, *Food Control* Volume 152, October 2023, 109849

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del programa AGROALNEXT (proyecto AGROALNEXT/2022/025), respaldado por el MCIN, con financiación de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y de la Generalitat Valenciana, PROMETEO 2021/072, financiado por el programa para grupos de excelencia de la Conselleria de Educación, Universidades y Empleo de la GVA y Proyecto TED2021-132130B-I00 financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR. M.E. agradece la ayuda en el marco del “Programa Investigo” (Generalitat Valenciana, Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia – Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU).

MOVIMIENTO DEL GANADO CON COLLARES GPS Y SU APLICACIÓN EN LA GESTIÓN DE AGROECOSISTEMAS

Jomar Magalhaes Barbosa^{1*}, Marina Rincón-Madroño¹, Lola Fernández-Gómez¹, Mario Velamazán¹, Antonio Contreras², José Antonio Sánchez Zapata¹

1: Grupo de Investigación en Ecología y Conservación de la Biodiversidad, Instituto de investigación e innovación agroalimentaria y agroambiental, Universidad Miguel Hernández, Elche, 03202.

2: Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Murcia, 30100, Murcia

*e-mail: jmagalhaes@umh.es

Palabras clave: Ganadería extensiva; Tecnología GPS/GSM; Clima; Funcionamiento de Agroecosistema

Introducción

Existe una clara preocupación entre los ganaderos por los eventos climáticos extremos, especialmente las sequías o precipitaciones intensas, cuya frecuencia se ha incrementado en las últimas décadas. En consecuencia, la sostenibilidad de las explotaciones ganaderas podría verse directamente afectada, especialmente en los sistemas agropecuarios tradicionales basados en el uso de pastos naturales (Barbosa et al., 2023). En particular, para las regiones mediterráneas, la necesidad de alimentación suplementaria para el ganado puede aumentar en un escenario de cambio climático donde las sequías son más frecuentes, lo que contribuye significativamente a la subida de los costes de producción. Además, existe una creciente preocupación de los consumidores por la calidad de los productos ganaderos y el bienestar animal. Por lo tanto, entender las relaciones ecológicas entre ganado-pasto-clima en sistemas semi-naturales nos posibilita una transición hacia una ganadería sostenible y con capacidad de resiliencia a los efectos del cambio climático y la escasez hídrica.

El uso de herramientas de recopilación de datos masivos (BigData), incluida la telemetría por GPS para el ganado y la teledetección (con imágenes satelitales), junto con una caracterización ecológica de los sistemas productivos establecen como una oportunidad metodológica única para evaluar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos extensivos. En ese contexto, el presente estudio tiene como objetivo combinar datos GPS-GSM y ecosistémicos (clima y productividad de los pastos) para proponer potenciales herramientas de gestión del uso del paisaje en sistemas ganaderos extensivo.

Material y métodos

Usando aproximadamente 100.000 posiciones GPS de 26 rebaños de ovejas (Santiago de la Espada, Jaén), hemos estimado la velocidad diaria de movimiento (metros/día) y la presión de pastoreo (P ; número de unidades ganadera por hectárea adaptado de Castillo-García et al. 2022) con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\text{Tamaño del rebaño} * \text{Probabilidad de uso} * \text{Intervalo de recogida de datos} * \text{UGM}}{\text{radio de 1 hectárea} / \text{radio de analisis}}$$

Donde el tamaño del rebaño es el número de cabezas de ganado de cada rebaño/collar GPS, probabilidad de uso es un índice calculado con la función “Utilization Density” del software R (paquete amt), intervalo de recogida de datos es de 1h entre puntos GPS, UGM es la unidad de ganado mayor de 0,125 para ovejas, radio de análisis es el “bandwidth” del “Utilization Density” y el radio de 1 hectárea es de 56,4 metros. La ecuación genera para cada rebaño una imagen “raster” con 50 m de pixel. Si hay solapamiento espacial entre rebaños, se suman todas las imágenes raster.

Para cada posición GPS (teniendo en cuenta el día y la hora de cada posición), también hemos obtenido datos de productividad primaria de los pasto y clima (precipitación y temperatura). Usamos datos de los satélites Landsat (L5, L7, L8) y MODIS (<https://lpdaac.usgs.gov/>), para extraer la productividad primaria de la vegetación con el Índice de diferencia normalizado (NDVI). Además, usamos datos CHIRPS, y de

la Agencia Estatal de Meteorología-AEMET para obtener información de precipitación y temperatura. Los datos de NDVI y clima han sido procesados en la plataforma Google Earth Engine (GEE).

Resultados y conclusión

Nuestros resultados demuestran un gran potencial en el uso combinado de datos de collares GPS del ganado con datos climáticos o de productividad primaria de los pastos obtenidos por medio de imágenes de satélite (Figura 1). Primero, hemos creado mapas de presión de pastoreo (número de unidades ganadera por hectárea, Figura 1A) usando una metodología totalmente automatizada que se puede aplicar en cualquier región del mundo y con cualquier tipo de rebaño (vacas, caballos, etc.). La resolución espacial y temporal es totalmente adaptable a las demandas de gestión del paisaje. Mas importante, esa metodología puede ser incorporada a una aplicación móvil que los propios ganaderos pueden manejar. Por otro lado, hemos observado que el movimiento del ganado a nivel diario y a lo largo del año está bastante condicionado a las condiciones climática y de disponibilidad de alimento en los pastos extensivos (Figura 1B). Con estos datos, podemos reconstruir detalles del proceso de obtención de alimento y gastos energéticos del rebaño.

Reconstruyendo en el espacio y en el tiempo las relaciones entre clima-pastos-ganado, ese estudio puede contribuir a la gestión, conservación y resiliencia ecológica de los sistemas de pastoreo de montaña de alto valor natural en un contexto de cambio climático. Desde un punto de vista aplicado, proponemos la incorporación de sensores remotos y tecnología satelital en los sistemas de manejo ganadero basados en el monitoreo de pastos y ganado, permitiendo a los actores optimizar el manejo de los ecosistemas de pastoreo extensivo. La accesibilidad del sector agropecuario a esas tecnologías puede ser clave para una eficiente gestión y manejo del ganado en un contexto de clima cada vez menos predecible. Entre los grandes retos de futuro para la sostenibilidad del sector agroalimentario en la UE y España se encuentra el incremento del uso de bases conceptuales de la ecología y la incorporación de tecnologías punteras.

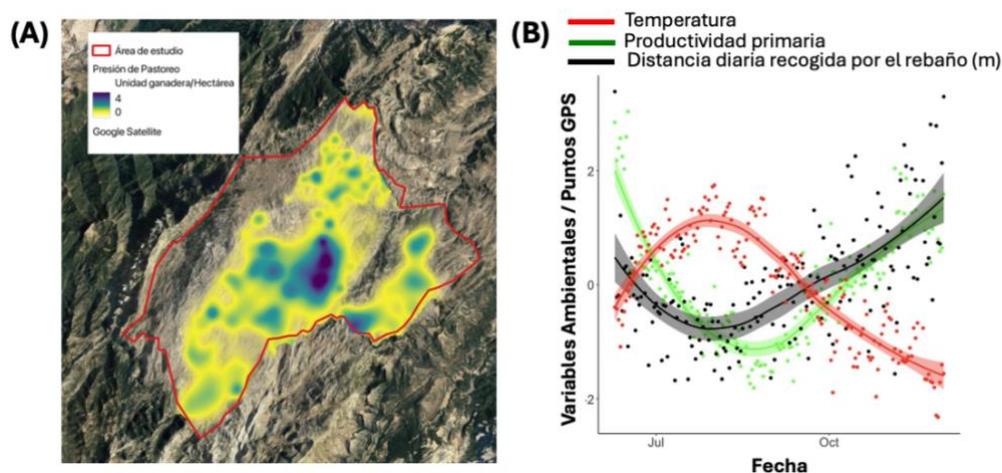


Figura 1: (A) Mapa de presión de pastoreo (número de unidades ganadera por hectárea) con una resolución espacial de 50 metros y un intervalo de tiempo de 1 año. La línea roja indica el área de estudio que incluye aproximadamente 26 rebaños. La escala de color del azul, verde al amarillo indican respectivamente alta, media, baja presión de pastoreo. (B) Fecha y hora de la tomada de datos GPS y su relación con variables ambientales (temperatura y productividad primaria) o distancia diaria recogida por un rebaño (metros). Los valores han sido normalizados para facilitar su visualización en una misma escala numérica.

Referencias

- Barbosa, J.M., M. Rincón-Madroño and J. A. Sánchez-Zapata. 2023. "Seasonal Anomalies on Climate Disrupt Ecosystem Dynamics of Different Grazing Systems," IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 1684-1687.
- Castillo-Garcia et al. 2022. Understanding herbivore-plant-soil feedbacks to improve grazing management on Mediterranean mountain grasslands, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 327, 107833.

Agradecimientos

Este estudio forma parte de los proyectos AGROALNEXT (2022/038) y DIGITALPAST (TED2021-130005B-C21, MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y European Union Next Generation EU/PRTR.

SENSOR ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA EL CONTROL DEL AMONIACO EN EXPLOTACIONES GANADERAS: NH₃CONTROLFARM.

Pilar Campíns-Falcó*, **Belén Monforte-Gómez**, **Rosa Herráez-Hernández**, **Carmen Molins-Legua**, **Yolanda Moliner-Martinez** y **Neus Jornet-Martinez**

Grupo MINTOTA, Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, Universidad de Valencia;
Dr. Moliner, 50; 46100 Burjassot, España;

e-mail: pilar.campins@uv.es

Palabras clave: amoníaco, atmósferas, granjas, TRL, sensor sólido, smartpone

Introducción: El objetivo es la implementación de sensores económicos y eficientes para el control de amoníaco en explotaciones ganaderas, NH₃ControlFarm. El amoníaco (NH₃), aunque común en la naturaleza, a partir de un umbral puede tener un fuerte impacto negativo en las granjas de animales, en particular en la industria avícola, con efectos adversos sobre la salud de las aves, la tasa de crecimiento, el sistema inmunológico y la histomorfología intestinal. Además, la liberación de NH₃ al medio ambiente es causa de la lluvia ácida, actuando como catalizador. La Directiva del Consejo de Europa 2007/43/CE establece que la concentración de NH₃ no debe exceder 20 ppm-v durante cualquier período de ocho horas o 35 ppm-v durante cualquier período de diez minutos durante el ciclo de producción avícola. La herramienta NH₃ControlFarm desarrollada por MINTOTA (Campíns-Falcó et al., 2016 y 2023) puede reducir el riesgo de peligro para la salud en las explotaciones ganaderas aumentando la detección de contaminación lo antes posible en las granjas avícolas, evitando el impacto negativo en las aves por el control de la concentración de NH₃. Las soluciones actuales para la medición del NH₃ son caras o aportan información puntual o no son selectivas.

Materiales y métodos: Pruebas y demostración de las posibilidades de NH₃ControlFarm a través de casos de uso que cubren problemas de la vida real. Se han desarrollado sensores pasivos con diferentes composiciones que permiten la determinación de amoníaco de una forma sostenible y verde, sin necesidad de coste energético y sin toxicidad. Se realiza una evaluación integral del amoníaco en atmósferas de granjas avícolas a partir de sensores distribuidos en la instalación (proyectos PDC2021-121604-I00 finalizado y AGROALNEXT 2022/019). Se evalúan las mediciones digitalmente.

Resultados y conclusiones: Casos de uso realizados en granjas avícolas. Los resultados son el diagrama técnico de las granjas seleccionadas y el plan de muestreo para establecer la concentración de NH₃ en un escenario correspondiente a las condiciones de trabajo habituales para los períodos de crecimiento de los pollos (invierno y verano) donde el control del NH₃ es difícil. La temperatura interior no debe exceder la temperatura exterior en más de 3°C cuando esta última sea de 30°C y la humedad relativa durante 48 horas no debe exceder el 70% cuando la temperatura exterior sea inferior a 10°C. Un ejemplo de los resultados obtenidos se muestra en la Figura 1.

Además de la resiliencia (pasivo, cambio de color a varias T y % RH), otra ventaja importante de NH₃ControlFarm es su capacidad de proporcionar información de toda la atmósfera de la granja avícola mediante la distribución del número adecuado de sensores. Este diseño no es posible con las opciones actuales de forma sostenible.

Figura 1. Casos de uso realizados en 2 granjas avícolas. Resultados de amoníaco en la atmósfera de la granja 1 (azul) y granja 2 (naranja) para 48 días de engorde de la camada.

Referencias:

1. P. Campíns-Falcó, Y. Moliner-Martínez, R. Herráez-Hernández, C. Molins-Legua, J. Verdú-Andrés, N. Jornet-Martínez. Patent title: Passive device for in situ detection and/or determination of amines in gases. Grant no: ES2519891B1. Appl. no: P201300436. Titular Entity: 273 UVEG. PCT: PCT/ES2014/000077 (granted 2020), EP 14795283.2. Extended Patent: Passive device for in situ detection and/or determination of ammonia in gases. Application number: P201600032 (positive response 2016) ES 2 619 356 B1.
2. P. Campíns-Falcó, B. Monforte-Gómez, Yolanda Moliner-Martínez, Lusine Hakobyan. Solicitud de patente presentada 30/11/2023: P202331000 "MATRICES TRIDIMENSIONALES POROSAS PARA LA DETECCIÓN Y/O DETERMINACIÓN DE ANALITOS Y SU PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN.

Agradecimientos: Este estudio forma parte del programa AGROALNEXT y contó con el apoyo de MCIN con financiación de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y de la Generalitat Valenciana: AGROALNEXT 2022/019. Otras ayudas económicas proceden de: proyecto PDC2021-121604-I00 MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y Unión Europea NextGenerationEU/PRTR y PID2021-124554NB-I00 MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y FEDER-Una manera de hacer Europa.

Desarrollo de estrategias eco-respetuosas innovadoras basadas en miPEPs y sensores proximales para optimizar el uso de agua y nitrógeno en el cultivo de tomate (TOMSMART)

Inmaculada García-Robles¹, Sara Pescador-Dionisio^{1,3}, Aida Robles-Fort¹, Dani Gil-Villar², M. Pilar Cendrero-Mateo³, Begoña Renau-Morata⁴, Adrián Moncholí³, M^a José López-Galiano¹, Amparo Martínez-Ramírez⁵, Rosa Victoria Molina², M. Dolores Real¹, Carolina Rausell¹, Shari Van Wittenberghe³. Sergio G Nebauer²

¹Departamento de Genética. Facultad de Biología, Universitat de València, C/ Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot (Valencia).
Inmaculada.garcia@uv.es

²Área de Fisiología vegetal. Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia

³Laboratory of Earth Observation. Universitat de València, C/ Catedrático José Beltrán, 2, 46980 Paterna, Valencia, Spain

⁴Departamento de Fisiología Vegetal, Instituto Biotecmed, Universitat de València, C/ Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot (Valencia).

⁵Sección Genómica, Servicios Centrales de Soporte a la Investigación Experimental (SCSIE), Universitat de València, C/ Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot (Valencia).

Palabras clave: miPEPs, estrés, cultivo sostenible, teledetección, tomate

• Introducción y objetivo:

Uno de los efectos con mayor impacto del cambio climático en la agricultura es el aumento de la frecuencia e intensidad de sequías y la alteración de los ciclos de nutrientes. En este contexto, los cultivos se ven sometidos a condiciones cada vez más adversas, lo que subraya la urgencia de comprender y mitigar los efectos del estrés hídrico y nutricional, especialmente en cultivos de interés comercial. El proyecto TOMSMART emplea un enfoque integrado, que combina técnicas fisiológicas clásicas con herramientas de teledetección y análisis de fluorescencia para obtener una comprensión holística de la respuesta de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), una de las principales especies hortícolas, a condiciones de estrés hídrico y deficiencia de nitrógeno (N). Las actuales tecnologías de detección remota permiten obtener indicadores fisiológicos de estrés temprano basados en las medidas de la reflectancia de la vegetación y la fluorescencia re-emitida por las moléculas de clorofila-a, a escala de hoja, planta y ecosistema. Lo cual permite monitorizar y ajustar tratamientos en los sistemas agronómicos muy eficientemente. Además, las técnicas modernas de determinación de ácidos nucleicos han permitido identificar microRNAs (miRNAs), moléculas de RNA no codificante de simple cadena, que regulan la expresión de genes implicados en el desarrollo de las plantas y las interacciones de estas con el medio. Estos miRNAs se han convertido en potentes dianas para la obtención de cultivos tolerantes a multi-estreses. Se han identificado diversos miRNAs involucrados en la regulación de la absorción y utilización de nitrógeno, así como en la respuesta de las plantas al estrés por sequía en diferentes especies vegetales de interés agronómico. Recientemente se ha descrito que algunos precursores de miRNAs (pri-miRNAs) contienen ORFs que codifican pequeños péptidos reguladores, denominados miPEPs, que inducen la transcripción y acumulación del correspondiente pri-miRNA, provocando la represión de los genes diana de los miRNAs maduros. Varios grupos de investigación han demostrado que la expresión de los miRNAs puede ser modulada mediante la aplicación exógena de miPEPs en las plantas y por ello, estos péptidos se han convertido en una innovadora alternativa al uso de agroquímicos y plantas genéticamente modificadas, respetuosa con el medio ambiente.

El objetivo del proyecto es el desarrollo de herramientas basadas en miPEPs para modular los cambios fisiológicos necesarios para maximizar el uso eficiente de agua y nitrógeno, y el desarrollo de sistemas de monitorización de las plantas mediante técnicas innovadoras de detección remota que permitirán intervenciones individualizadas para cada situación.

Material y métodos

Se cultivaron plantas de tomate (cv Moneymaker) en una cámara de crecimiento durante 38 días (plantas de 3-4 hojas) en condiciones de riego y fertilización completa. Tras dicho periodo se sometieron a 3 tratamientos diferentes: control, sequía y deficiencia de nitrógeno. Estos tratamientos tuvieron una duración de 7 días, tras los cuales todas las plantas fueron devueltas al régimen inicial de riego y fertilización para estudiar la dinámica de recuperación. En total se trabajó con 156 plantas: 12 plantas por condición y muestreo, 4 réplicas biológicas de 2 plantas en cada muestreo y 4 plantas para peso seco. Se tomaron medidas y muestras vegetales en los días 0,2,4,7 y 14 y a día 14 (tras 7 días de recuperación) desde el inicio del tratamiento. Se realizaron mediciones de la fotosíntesis neta (Anet), fluorescencia activa y disipación de energía no fotoquímica (non-photochemical quenching, NPQ), utilizando el sistema de fotosíntesis portátil Li-Cor 6400 XT (Li-COR Biosciences, Lincoln, EE. UU.). Paralelamente, se midió la fluorescencia pasiva de las hojas y la reflectancia real utilizando el clip de hoja FluoWat (1) y dos espectroradiómetros QE-pro (Ocean Insight, EE.UU.). Se aplicó, además, un algoritmo de separación espectral a los datos de espectroscopía de las hojas, derivando la absorbancia efectiva de los pigmentos fotosintéticos y fotoprotectores (Van Wittenberghe et al., 2024). Se determinaron parámetros de crecimiento: altura, nº de hojas, peso vástago, peso raíces, longitud raíces, superficie foliar contenido elemental en carbono y nitrógeno y se fotografiaron las plantas y raíces individualmente.

Las hojas y raíces se muestrearon en los días seleccionados para realizar un análisis transcriptómico dirigido a la identificación de los ARN que codifican para los miPEPs implicados en la respuesta temprana al estrés, así como de los genes que están afectados durante los tratamientos realizados.

Resultados y Conclusión

Las condiciones seleccionadas provocaron una caída significativa en los parámetros de crecimiento a los 7 días de iniciados los estreses. Cabe destacar que algunos parámetros fisiológicos y espectroscópicos mostraron variaciones significativas a los 2-3 días del experimento, indicando efectos tempranos específicos en respuesta a cada tipo de estrés y a día 14, tras la recuperación, se observan parámetros fisiológicos equivalentes a día 0. Hemos podido correlacionar los datos de parámetros fisiológicos con los obtenidos por técnicas de teledetección, y eso hará posible la obtención de un modelo de detección temprana del estrés con estas herramientas. Un primer intento de estimar de forma remota la activación de NPQ mediante el ajuste espectral de la absorción relacionada con las xantofilas arrojó resultados prometedores. El análisis global de expresión génica ha permitido identificar procesos activados e inhibidos en la planta, con diferencias en las respuestas en el tiempo, y especificidad en relación con los dos estreses aplicados. Con estos resultados se ha iniciado la puesta a punto de los primeros experimentos de aplicación de miPEPs en riego y han resultado positivos para el miPEP156a.

En definitiva, la detección temprana del estrés vegetal a través de técnicas de teledetección, en combinación con el uso de miPEPs como una herramienta agronómica innovadora para promover la adaptación de las plantas y maximizar la eficiencia del agua y el nitrógeno, podría facilitar una respuesta rápida a los agricultores y así garantizar una producción sostenible de cultivos en el contexto del cambio climático.

- **Referencias**

Chordá, L.A. "Passive Direct Measurement of Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence Spectrum from in Vivo Leaves," 2022. <https://rodrigo.uv.es/handle/10550/82384>.

Van Wittenberghe et al., 2024

Van Wittenberghe, S.; Amin, E.; Pascual-Venteo, A.B.; Pérez-Suay, A.; Tenjo, C.; Sabater, N.; van der Tol, C.; Drusch, M. and Moreno, J. Retrieval of leaf-level fluorescence quantum efficiency and NPQ-related xanthophyll absorption through spectral unmixing strategies for future VIS-NIR imaging spectroscopy, *Remote Sensing of Environment*, Volume 300, 2024, 113879, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113879>.

- **Agradecimientos**

MCIN y Fondos Europeos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1), Generalitat Valenciana. AGROALNEXT/2022/056 y MCIN/AEI/10.13039/501100011033:TED2021-132355B-I00. European Research Council (ERC): ERC-2021-STG project PHOTOFLUX (grant agreement no. 101041768). SEGIJENT: Proyecto GreenCrops (CISEJI/2023/48), Generalitat Valenciana. Servicios Centrales de Soporte a la Investigación Experimental (SCSIE- Universitat de València).

EMPLEO DE CEPAS NO MICOTOXIGÉNICAS PARA EL CONTROL DE LA PATULINA PRODUCIDA POR *Penicillium expansum*

Belén LLOBREGAT, Luis GONZÁLEZ-CANDELAS y Ana-Rosa BALLESTER*

Departamento de Biotecnología de Alimentos, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA, CSIC), Calle Catedrático Agustín Escardino 7, Paterna 46980. Valencia
e-mail: ballesterar@iata.csic.es

Palabras clave: micotoxinas, control, metabolismo secundario, mutantes, competencia

Introducción: Las micotoxinas representan un riesgo para la seguridad alimentaria, causando pérdidas económicas importantes en todo el mundo cada año. Además, otro impacto económico negativo de la contaminación por micotoxinas es la pérdida de productos agrícolas, productos animales y piensos para animales una vez que se detectan las micotoxinas. *Penicillium expansum* es el agente causal de la podredumbre azul en frutos de pepita, como la manzana, y es el principal productor de patulina. Debido a la toxicidad de esta micotoxina, los niveles máximos de patulina en zumos de frutas y productos infantiles, entre otros, está regulado por la Comisión Europea. La mejor estrategia para minimizar los niveles de micotoxinas en la cadena alimentaria implica prevenir el crecimiento fúngico. Para ello, se pueden utilizar productos químicos como los fungicidas, sistemas físicos o el empleo de agentes biológicos de control. Los microorganismos de biocontrol se basan en cuatro estrategias básicas: competencia por recursos y espacio, producción de antibióticos, inducción de resistencia y parasitismo.

El **objetivo** de este estudio fue investigar el potencial de control biológico de cepas no micotoxigénicas de *Penicillium expansum* frente a una cepa productora de patulina.

Materiales y métodos

Se empleó *Penicillium expansum* CMP1 como cepa parental y se generaron dos mutantes de delección mediante transformación genética mediada por *Agrobacterium tumefaciens* (1). Como genes diana se seleccionaron *patK*, primer gen de la ruta de biosíntesis de la micotoxina patulina, y *veA*, gen regulador global del metabolismo primario y secundario en hongos filamentosos.

Se realizó un experimento para determinar la capacidad competitiva entre los mutantes de delección y la cepa parental. Se co-inocularon en medio de cultivo sólido la cepa parental y los mutantes de delección en ratios de 1:0, 1:1 y 0:1. A los 7 días de incubación a 24 °C en oscuridad, se recogieron las esporas, para la extracción de DNA, y la patulina producida (2). Mediante qPCR se determinó el porcentaje de crecimiento respecto de la cepa parental y se cuantificó el porcentaje de patulina mediante HPLC.

Resultados:

En términos de fenotipo, la cepa mutante $\Delta patK$ no mostró diferencias significativas en crecimiento o conidiación en comparación con la cepa silvestre, mientras que la cepa mutante ΔveA exhibió alteraciones en el crecimiento y conidiación.

Los experimentos de competencia *in vitro* revelaron que la cepa $\Delta patK$ pudo mantener la población

de la cepa silvestre en la condición de co-cultivo 1wt:1 Δ *patK* (Tabla 1) y disminuir los niveles de patulina en dicha condición (Tabla 2). En cambio, el mutante de delección Δ *veA* tuvo dificultades para competir con la cepa parental ya que el crecimiento de la cepa parental fue mayor que la del mutante de delección en la condición 1wt:1 Δ *veA* (Tabla 1), lo que resultó en niveles de patulina más altos de lo esperado según la proporción inicial de co-cultivo (Tabla 2).

Tabla 1. Ensayo de competencia de los mutantes de delección Δ *patK* y Δ *veA* frente a la cepa productora de patulina *P. expansum* (wt) CMP1 a los 7 días post inoculación en placas de PDA. Los ensayos de competencia se ensayaron a los ratios 1wt:0 Δ , 1wt:1 Δ , y 0wt:1 Δ . Las estimaciones de los porcentajes de crecimiento de cada cepa se determinaron mediante qPCR.

	Crecimiento (%)			Crecimiento (%)	
	wt	Δ <i>patK</i>		wt	Δ <i>veA</i>
1wt:0Δ	100.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00	1wt:0Δ	100.00 \pm 0.00	0.00 \pm 0.00
1wt:1Δ	48.24 \pm 3.80	51.76 \pm 3.80	1wt:1Δ	88.35 \pm 0.64	11.65 \pm 0.64
0wt:1Δ<i>patK</i>	0.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	0wt:1Δ<i>veA</i>	0.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00

Tabla 2. Producción de patulina en el ensayo de competencia de los mutantes de delección Δ *patK* y Δ *veA* frente a la cepa productora de patulina *P. expansum* (wt) CMP1 a los 7 días post inoculación en placas de PDA. Los ensayos de competencia se ensayaron a las ratios 1wt:0 Δ , 1wt:1 Δ , y 0wt:1 Δ .

	Patulina (%)			Patulina (%)	
	wt	Δ <i>patK</i>		wt	Δ <i>veA</i>
1wt:0Δ	100.00 \pm 3.18		1wt:0Δ	100.00 \pm 3.35	
1wt:1Δ	40.03 \pm 5.55		1wt:1Δ	96.87 \pm 1.31	
0wt:1Δ<i>patK</i>	0.00 \pm 0.00		0wt:1Δ<i>veA</i>	0.00 \pm 0.00	

Conclusión: este estudio destaca la posibilidad de utilizar cepas no micotoxigénicas de *P. expansum*, especialmente aquellas con delecciones en genes específicos de la ruta de biosíntesis de las micotoxinas, como estrategia de biocontrol para mitigar la contaminación por patulina, lo que podría tener implicaciones significativas para la seguridad alimentaria y la calidad de los productos agrícolas. Es importante indicar que la eficacia del agente de biocontrol puede depender de la cepa específica y que los mutantes con delecciones en genes implicados en la ruta de biosíntesis de las micotoxinas pueden ser más efectivos que aquellos con delecciones en genes reguladores globales.

Agradecimientos: Proyectos AGROALNEXT/2022/028 (GVA, PRTR, MRR, NextGenerationEU), RTI2018-093392-A-I00, PID2021-126005OBI00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE), y PIE 202270I070 (CSIC). Contrato Ramón y Cajal (RYC-201722009, MINECO and FSE) y contrato predoctoral (PRE2019-089326, MICINN/AEI/FSE, UE). Acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa (CEX2021-001189-S, MCIN/AEI/10.13039/501100011033).

Referencias:

1. Ballester, A.R., Marcet-Houben, M., Levin, E., Sela, N., Selma, C., Carmona, L., et al. (2015) Genome, transcriptome, and functional analyses of *Penicillium expansum* provide new insights into secondary metabolism and pathogenicity. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 28, 232–248. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-14-0261-FI>.
2. Llobregat, B., González-Candelas, L. & Ballester, A.-R. (2024) Exploring the biocontrol capability of non-mycotoxigenic strains of *Penicillium expansum*. *Toxins*, 16, 52. <https://doi.org/10.3390/toxins16010052>.

Seguimiento de la plaga *Delottococcus aberiae* en naranjos mediante herramientas de teledetección

Fàtima Della^{1*}, Belen Franch^{1,2} Alberto San Bautista⁽³⁾, Italo Moletto-Lobos⁽¹⁾, Constanza Rubio⁽³⁾ y César Guerrero⁽¹⁾

1: Global Change Unit, Parc Científic, Universitat de València (Paterna), 46980, Spain. fatima.della@uv.es

2: Dept of Geographical Sciences, University of Maryland, College Park MD 20742, United States

3: Departamento de Producción Vegetal, Universitat Politècnica de València (Valencia), 46022, Spain

4: Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València (Valencia), 46022, Spain

Palabras clave: *Delottococcus aberiae*, separabilidad.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El insecto *Delottococcus aberiae* conocido como Cotonet de les Valls, es una especie de cochinilla perteneciente a la familia Pseudococcidae que fue detectada por primera vez en el año 2009 en Benifairó de les Valls [A. Quintana. 2021]. Este insecto se alimenta de la savia de los árboles, lo que debilita a las plantas y provoca deformaciones en los frutos. Tiene múltiples generaciones al año, alcanzando su máximo poblacional en mayo-junio, lo que hace que el período crítico para su control sea justo antes, en marzo-mayo. El satélite Sentinel-2 proporciona mediciones periódicas de la reflectividad espectral de la vegetación, que incluyen información sobre la pigmentación de las hojas, su estructura celular, contenido de humedad y posibles anomalías en las plantas. Estudios como el realizado por M. Yones et al. en 2019 han identificado diferencias espectrales entre árboles sanos y afectados, como almendros, olivos y limoneros, lo que demuestra la viabilidad de detectar plagas en cultivos mediante teledetección. Como alternativa para mejorar la frecuencia temporal de Sentinel-2, se considera el procesador Sen2Like de la ESA, que combina datos de Sentinel-2 y Landsat para aumentar la frecuencia temporal de datos a escala Sentinel-2. En este contexto, con el objetivo principal de caracterizar la incidencia del Cotonet en diferentes regiones de la respuesta espectral de los naranjos, así como analizar la separabilidad entre parcelas sanas y afectadas, se tendrán en cuenta las regiones del espectro rojo ($0.65 \mu\text{m}$), el infrarrojo cercano (NIR) ($0.7 - 1.3 \mu\text{m}$), el infrarrojo de onda corta (SWIR) ($1.3 - 2.5 \mu\text{m}$) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

MATERIAL Y MÉTODOS (Zona de estudio y procesado)

El estudio se ha realizado usando 24.6 hectáreas distribuidas en 21 parcelas ubicadas en las proximidades del municipio de Vall d'Uixó (Castellón, Comunidad Valenciana, España). Dichas parcelas se dividen en dos grupos: 12 afectadas y 9 sanas. Esta clasificación se realizó para la campaña 2021-2022 y se basó en la información de campo (verdad terreno) proporcionada por las cooperativas San Vicent Ferrer y Vallfruit, ubicadas en Vall d'Uixó, durante la campaña 2021-2022.

Hemos estudiado la evolución temporal desde 2017 hasta 2022 de la media espacial (μ) y la desviación estándar (σ) de la reflectividad (ρ) de las bandas de Sen2Like y del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) tanto para las parcelas sanas como para las afectadas por cotonet. El cálculo de la media y la desviación estándar se ha realizado tanto a nivel de parcela como para el grupo de parcelas sanas y el grupo de las afectadas. Además, ha sido calculada la diferencia entre medias sanas y afectadas en cada fecha disponible. Finalmente, dada la estacionalidad de las señales, se ha llevado a cabo un análisis de

tendencias sobre cada mes del año, obteniendo una pendiente mensual para cada parcela y cada rango espectral.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados resumidos acerca de las regiones espectrales analizadas (así como NDVI). En todos los casos se ha obtenido una respuesta temporal cíclica, con máximos y mínimos localizados. La tendencia de las diferencias varía según la región del espectro. Respecto al análisis de las tendencias mensuales, en la figura 1 se muestra la evolución de la pendiente mensual para el caso del SWIR. Es la región espectral que más capacidad de separación ha presentado, en concreto en los meses desde

Tabla 1. Resumen de resultados

Rango espectral	Periodicidad		Signo de tendencia	Meses de separabilidad
	Mínimos	Máximos	Diferencias	
Red	Invierno	Verano	Negativo	8, 10, 11, 12
NIR	Invierno	Verano	Positivo	1, 5, 11
SWIR	Invierno	Verano	Negativo	Del 6 al 12
NDVI	Verano	Invierno	Positivo	7, 8, 10, 11, 12

julio hasta diciembre.

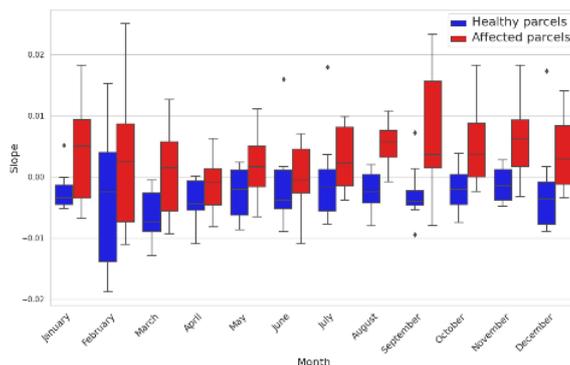


Figura 4. Pendiente (slope) de la regresión lineal de cada mes del año para el SWIR, en parcelas sanas (azul) y afectadas (rojo).

CONCLUSIONES

De los hallazgos obtenidos, se pueden derivar diversas inferencias: Se ha establecido una correlación entre el comportamiento periódico de la reflectividad y el ciclo de cultivo, manifestando una marcada estacionalidad, la cual se ha podido mitigar mediante el método de las regresiones mensuales. No obstante, este método requiere de la disponibilidad de un año base donde las parcelas afectadas no lo estuviesen, lo que implica disponer de un conocimiento histórico de la parcela. Se ha constatado que la información de los rangos espectrales analizados puede ser valiosa en distintos momentos del año para definir criterios de separabilidad entre parcelas sanas y afectadas. En particular, el canal del SWIR ha sobresalido por su capacidad discriminadora en diversos meses. Estas conclusiones establecen un punto de partida. Se ha evidenciado la factibilidad de distinguir entre parcelas sanas y afectadas. No obstante, ¿es este criterio trasladable a otras zonas geográficas? ¿Y a diferentes tipos de cultivos? Además, dados nuestros resultados cualitativos, sería beneficioso establecer un criterio cuantitativo para la clasificación entre parcelas sanas y afectadas, así como desarrollar un sistema de alerta temprana para evitar la proliferación de la plaga.

REFERENCIAS

- A. Quintana. 2021. Resolució de la Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, no. 9153.
- M. Yones, et al. 2019. Spectral signature for detecting pest infestation of some cultivated plants in the northern west coast of egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology*, vol. 12, pp. 73–83, 06

AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte del programa AGROALNEXT y ha sido respaldado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN) con financiamiento de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Generalitat Valenciana.

USO DE SISTEMAS ULTRASÓNICOS PARA LA MONITORIZACIÓN NO-INVASIVA DE LA CALIDAD Y SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS

Anabella Giacomozzi^{1*}, Jorge Gosálbez Castillo², Jose Vicente García Pérez¹ y Jose Benedito¹

1: Instituto de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV. Universitat Politècnica de València
Camí de Vera s/n, Edificio 3F, 46022 Valencia, España.
e-mail: asgiacom@upvnet.upv.es

2: Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEAM) - Universitat Politècnica de València, Valencia, España

Palabras claves: ultrasonidos, monitorización no-invasiva, calidad y seguridad alimentaria, cuerpos extraños, transformación digital.

Introducción y objetivo

Actualmente, la sociedad exige alimentos de máxima calidad y seguridad alimentaria. Sin embargo, las técnicas de análisis actuales no satisfacen la necesidad de la industria alimentaria de garantizar el control de la totalidad de la producción. Con el fin de abordar este desafío, este trabajo propone el uso de sistemas ultrasónicos innovadores para un análisis no-invasivo de alimentos. Se planteó su aplicación a dos tipos de alimentos, con el objetivo de evaluar la viabilidad de uso de los ultrasonidos sin contacto, tanto para la detección de cuerpos extraños, como para la caracterización de propiedades fisicoquímicas de alimentos sólidos. Se emplearon técnicas avanzadas para crear modelos predictivos de calidad y seguridad alimentaria, permitiendo un control óptimo del producto y del proceso. Esto impulsa la transición digital en las empresas agroalimentarias, promoviendo un procesamiento de alimentos inteligente y sostenible.

Materiales y métodos

Para la caracterización de propiedades fisicoquímicas, se analizaron láminas de lasaña (75mmx75mm) de distinto contenido de humedad (10.6, 8.5, y 3.3%, b.s.). Se emplearon dos sensores ultrasónicos sin contacto (280 kHz, geometría plana), operando en transmisión-recepción, situados enfrentados verticalmente y perfectamente alineados (distancia= 10 cm). En cada replica se midieron 5 puntos. Antes de proceder a la medida de las muestras de lasaña, se tomó la señal de referencia sin la muestra (en aire) y se midió el espesor de la muestra utilizando un sensor láser. Las señales de ultrasonidos se analizaron utilizando el método de umbral de energía para obtener el tiempo de vuelo (TOF), a partir del cual se calculó la velocidad de propagación (v) (Fariñas et al., 2023). Para medir las propiedades texturales se llevó a cabo un ensayo de flexión en 3 puntos mediante el uso de un Texturómetro (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Surrey). Para la detección de cuerpos extraños en productos sólidos se utilizaron muestras de hamburguesa de carne vacuna (90g). Se insertaron diferentes tipos de objetos extraños (madera, cartón y plástico blando de 10x10 mm; arandela metálica de 10 mm \varnothing) y se adquirieron imágenes acústicas de las hamburguesas utilizando un sistema automático de barrido en la dirección x-y, a través del cual se escaneó la superficie del producto en un área de 80x80 mm, con una resolución espacial de 1 mm. Este sistema se acopló con los mismos sensores ultrasónicos que se usaron en el análisis de lasaña. Se calcularon tres parámetros ultrasónicos relacionados con la energía (distancia de pico a pico, norma al cuadrado, e integral) de la señal ultrasónica en el dominio temporal.

Resultados y conclusión

La propagación de la onda ultrasónica es más rápida a medida que disminuye el contenido de humedad (Fig.1A), lo que se evidencia en los valores de TOF correspondientes: 187.4, 187.2, 186.8 μ s para las muestras de humedad 10.6, 8.5, y 3.3%, respectivamente. Además, En la Fig. 1B se muestra el incremento de la velocidad ultrasónica a través de las láminas de lasaña, debido a la reducción del contenido de humedad. Al disminuir el contenido de humedad, la estructura se vuelve más rígida, lo que podría aumentar la velocidad de

las ondas ultrasónicas a través de las láminas de lasaña. La rigidez de la estructura se evidenció por el incremento en el módulo de deformación al disminuir el contenido de humedad (10.6, 8.5, y 3.3%): 18.9 ± 1.4 , 20.1 ± 1.3 , 26.4 ± 1.9 N/mm, respectivamente. Estos resultados muestran la gran influencia de la variación del contenido de humedad en las propiedades estructurales y mecánicas de la lasaña, lo que se visualiza con cambios en la respuesta ultrasónica.

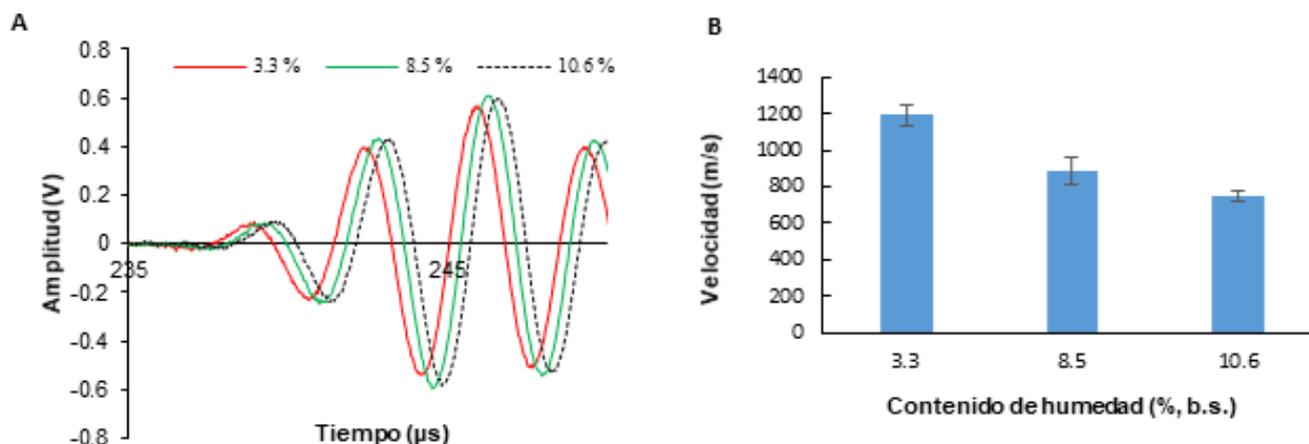


Figura 1. (A) Señales ultrasónicas y (B) Velocidad ultrasónica en láminas de lasaña con distinto contenido de humedad (% base seca).

En cuanto a la detección de cuerpos extraños en hamburguesa, se observaron reducciones significativas en los parámetros ultrasónicos dependiendo del tipo de cuerpo extraño incorporado (Tabla 1). La presencia del cuerpo extraño perturbó la forma de la señal ultrasónica y disminuyó su nivel de energía. La magnitud de esta modificación depende tanto de la tipología de cuerpo extraño, como de la diferencia de impedancia entre el cuerpo extraño y el alimento.

Tabla 1. Efecto de la presencia de cuerpos extraños en los parámetros ultrasónicos: distancia pico-pico (PP), integral (INT), y norma (ENG).

	Cuerpo extraño	Tamaño (mm)	PP (V)	ENG (V ²)	INT (Vμs)
Control	-	-	0.8 ± 0.1^a	9.9 ± 0.2^a	31.5 ± 0.9^a
Fuera de Control	Madera	10x10	0.3 ± 0.1^b	0.6 ± 0.1^b	12.2 ± 0.9^b
	Cartón	10x10	0.4 ± 0.1^c	2.3 ± 0.3^c	17.2 ± 0.9^c
	Plástico blando	10x10	0.4 ± 0.1^c	2.0 ± 0.2^c	16.6 ± 1.0^c
	Metal	d=10	0.3 ± 0.1^b	1.3 ± 0.2^c	12.7 ± 1.2^b

En base a los resultados obtenidos, se demuestra la viabilidad de las técnicas ultrasónicas sin contacto para la monitorización no-invasiva de la calidad y seguridad alimentaria. Esta aplicación presenta un gran potencial para optimizar tanto el análisis de textura de lasaña, como la detección rápida y precisa de distintos tipos de cuerpos extraños en hamburguesas.

Referencias

Fariñas, M. D., Sanchez-Jimenez, V., Benedito, J., & Garcia-Perez, J. V. (2023). Monitoring physicochemical modifications in beef steaks during dry salting using contact and non-contact ultrasonic techniques. *Meat Science*, 204, 109275.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación obtenida del proyecto ULTRADIGITAL (AGROALNEXT/2022/045), el cual forma parte del programa AGROALNEXT, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación con fondos europeos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1), así como por la Generalitat Valenciana.

ESTUDIO DE REDES NEURONALES PARA LA CALSIFICACIÓN DE VARIEDADES DE POLENES DE MIEL AUTOCTONAS

José Miguel Valiente¹, Juan José Martín¹, Fernando López¹, Isabel Escriche², Marisol Juan-Borrás², Ana María Peral, Mario Visquert², Vicente Atienza² y Manuel Agustí²

¹ Instituto de Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València (UPV), Spain
e-mail: jvalient@disca.upv.es

² Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV, UPV Valencia, Spain

Palabras clave: Análisis Polínico, Redes Neuronales Convolucionales, conjuntos de muestras de pólenes, Visión por Computador,

Introducción y objetivos

El análisis polínico es uno de los procedimientos más importantes a la hora de determinar la monofloralidad de una de miel. La metodología más estandarizada para realizar este procedimiento, una vez obtenida la muestra y estando preparada para ser analizada en el microscopio, consiste en realizar un recuento manual de 500 a 600 polénes y posteriormente obtener los porcentajes necesarios para poder atribuir a cada miel una determinada variedad botánica. Con esta premisa en mente, se planteó la idea de desarrollar una herramienta (*HoneyApp*) que permitiera el etiquetado y anotación de los pólenes en imágenes de microscopio, y además realizar la clasificación de las variedades de polen de manera autónoma, como ya se publicó en artículos anteriores [1] (Valiente, J. M.). Este trabajo se desarrolló en el contexto de los proyectos de investigación AGROMEL (1) y POLENET (2).

Con la finalidad de completar y mejorar las capacidades de la herramienta anterior, en este artículo se presenta un estudio del funcionamiento de las principales redes CNN para la clasificación de pólenes. Estas redes, una vez entrenadas y puestas en producción, se utilizarían en la aplicación antes indicada.

Material y métodos

Para la realización de estas pruebas se han empleado un total de 21 variedades de pólenes de los cuales 11 de ellos son indicadores de tipos de miel monofloral. Además, con el objetivo de realizar el entrenamiento de la manera más óptima para su posterior implementación y uso en análisis reales, se han añadido tres elementos externos a la miel, pero muy presentes en las muestras, como son el fondo, las burbujas o las partículas. En la Figura 1 se pueden apreciar los distintos tipos de pólenes.

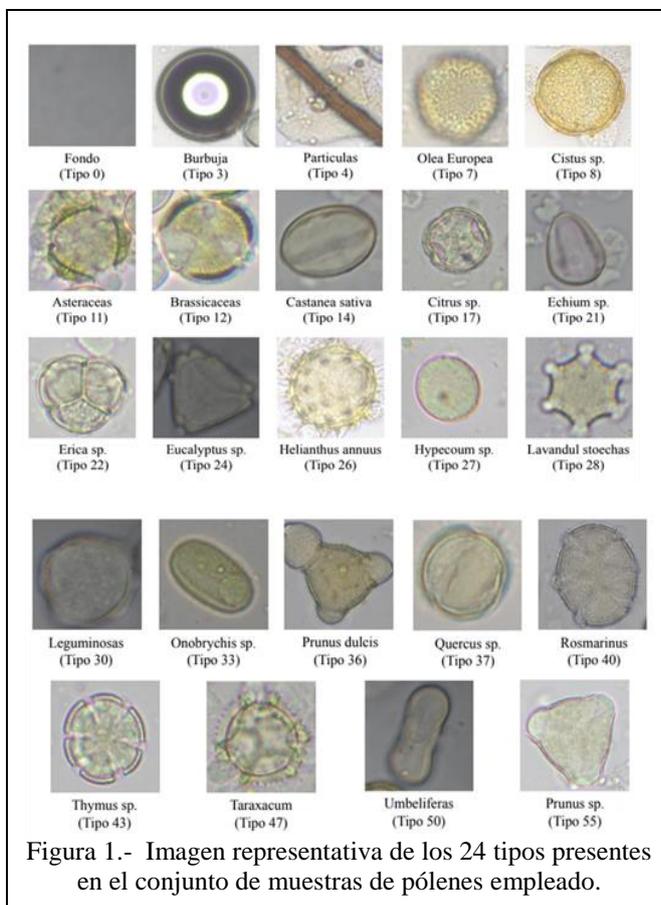


Figura 1.- Imagen representativa de los 24 tipos presentes en el conjunto de muestras de pólenes empleado.

Con estos 24 tipos se pueden diferenciar hasta 11 calificaciones de miel monofloral - Castaño, Azahar, Chupamieles, Brezo, Eucaliptus, Girasol, Cantueso, Esparceta, Almendro, Romero y Tomillo – lo cual es muy significativo como repositorio de mieles de la Península Ibérica.

Por lo que respecta a las redes, se ha realizado una selección de doce topologías muy distintas. Estas abarcan los modelos más estandarizados, dentro del ámbito de la clasificación de polen, como son: modelos principalmente lineales – VGG16, VGG19, DenseNet201, MobileNetV2 o la ResNet50 – modelos con un gran número de capas en paralelo – InceptionV3, Xception, EfficientNetV2M, NASNet o APFA_Net – y redes propias desarrolladas en el contexto del proyecto – PolenesV.2 y PolenesV.2 Mobile – las cuales están diseñadas específicamente para la clasificación de polen con un menor tamaño total.

Resultados y conclusiones

Las doce redes se han entrenado con el dataset generado mediante la aplicación **HoneyApp**. Este conjunto de muestras de polen se ha dividido en 80% para entrenamiento, 10% para validación y 10% para test. Se ha empleado una validación cruzada con 5-Fold, es decir se subdivide el conjunto y se realizan el experimento 5 veces, obteniendo los valores promedio de diferentes parámetros: Accuracy, Precision y Recall. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y se puede ver que todas las redes tienen un porcentaje de exactitud alrededor del 97%. Además, destacan por su exactitud redes como la InceptionV3 o la EfficientNetV2M, con porcentajes próximos al 98%. Sin embargo, si nos fijamos en el peso en memoria de esas dos redes observamos que necesitan más de 500MB. Esto es debido a los millones de parámetros que emplean. Cuando estas redes se deben emplear en producción, es decir para usarlas haciendo predicciones con nuevas muestras, resulta que requieren una cantidad de memoria excesiva. La cosa se hace notablemente peor si se tienen que emplear varias de estas redes simultáneamente o se van a usar con dispositivos de bajas prestaciones. Las redes con mejor relación tamaño-exactitud para estos casos son la APFA_Net y la PolenesV.2 Mobile, tal como refleja la tabla.

Red	VGG16	VGG19	ResNet 50	Inception V3	Xception	Dense Net201	Efficient NetV2M	Mobile NetV2	NAS Net	APFA Net	Polenet V.2	PolenetV.2 .mobile
Accuracy (%)	97,42	97,45	97,62	97,98	97,75	97,83	98,03	96,30	97,61	96,87	97,10	96,48
Precision (%)	97,00	97,40	97,60	98,00	97,80	97,80	98,00	96,60	98,00	97,00	96,80	96,40
Recall (%)	97,40	97,40	97,60	98,00	97,80	97,80	98,00	96,40	97,80	97,00	96,80	96,40
Tamaño (MB)	156,4	177,1	485,5	598,8	882,7	441,8	530,4	255,1	24,1	15,3	144,2	16,4

Tabla1: Gráfica comparativa que relaciona la exactitud, precisión, F1-Score y tamaño de las distintas arquitecturas.

A modo de conclusión, se puede apreciar que la precisión que se puede alcanzarse mediante el uso de redes convolucionales para la clasificación de variedades de polen es superior al 97%, que sería más que suficiente para la realización de análisis polínicos. También se concluye que, para entornos con capacidades limitadas, se pueden obtener redes con un tamaño diez órdenes de magnitud más pequeño y prestaciones cercanas al 97%. Por todo lo anterior, la aplicación **HoneyApp** ya incorpora esta metodología para la automatización del análisis polínico, permitiendo indicar qué red o redes se pueden emplear en producción. El aumento de la variedad de pólenes o el uso de nuevas redes o conjuntos de redes (ensembles) serán las líneas de actuación en el futuro.

Referencias

[1] Valiente, J. M., Juan-Borrás, M., López-García, F., & Escriche, I. (2023). Automatic pollen recognition using convolutional neural networks: The case of the main pollens presents in Spanish citrus and rosemary honey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105605.

Agradecimientos

(1) Proyecto AGROMEL-AGROALNEXT/2022/043, “Técnicas analíticas rápidas para evaluar seguridad, adulteración y trazabilidad en productos de la colmena. Aplicación a un cultivo en transición agroecológica”, financiado por la Generalitat Valenciana. Next Generation European Union y Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España

(2) Proyecto POLENET PID2019-106800RB-I00 (2019) del Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN), Agencia Estatal de Investigación MCIN/AEI/10.13039/501100011033.