



Figura 1. XF-ROVIM en el campo de ensayo.

Solución robotizada para prever y detectar *Xylella fastidiosa*

José Blasco, Santiago López y Sergio Cubero

Centro de Agroingeniería, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, (Valencia).
blasco_josiva@gva.es

Nuria Aleixos y Beatriz Rey

Departamento de Ingeniería Gráfica. Universitat Politècnica de València. Valencia.

Vicente Alegre, Carlos Ruiz y Enrique Aguilar

TRAGSA. Moncada (Valencia).

Este trabajo describe el desarrollo de un pequeño robot de campo (XF-ROVIM) en el IVIA como solución flexible para la detección temprana de *Xylella fastidiosa* (*Xf*) a nivel de la hoja. El robot se maneja por control remoto y está equipado con diferentes sensores de detección proximal que pueden capturar de forma geolocalizada información térmica, espectral y estructural de las plantas, a través de diferentes tipos de cámaras y un escáner láser (LiDAR). Hasta el momento, se han realizado dos ensayos en un campo potencialmente infectado en la provincia de Lecce (Italia) en el que se han capturado más de 35.000 imágenes con las diferentes cámaras, además de la estructura 3D de cada árbol. Los primeros índices vegetativos calculados a partir de la información espectral no han permitido determinar la infección, pero aún queda por analizar la información hiperespectral y térmica, así como crear modelos multivariantes que combinen toda la información obtenida. A los datos individuales de cada árbol se puede acceder fácilmente a través de Google Earth®.

La teledetección recopila información proveniente de la radiación emitida, reflejada y transmitida por la vegetación. Los sensores ópticos utilizados para obtener esta información (cámaras espectrales, térmicas, etc.) miden la energía electromagnética reflejada o emitida por la vegetación (firma espectral) en diferentes rangos espectrales o en longitudes de onda particulares (Vergara-Díaz y col., 2016). Esta información está influida por componentes estructurales y bioquímicos de las plantas, como el área foliar, la porosidad, el contenido de clorofila y agua o la concentración de nitrógeno. En condiciones de estrés, se producen cambios en estos componentes que son potencialmente detectables por estos dispositivos (Pu, 2011). Por ello, las plantas sanas y las enfermas tienen firmas espectrales particulares, lo que permite la detección de los efectos fisiológicos y bioquímicos en las primeras etapas de una enfermedad (Vicent y Blasco, 2017). Además, la propia estructura de la planta puede verse afectada como resultado de una enfermedad grave, y por tanto el estudio de su estructura 3D puede contribuir a su detección e identificación (Hernández-Clemente y col., 2014).

En el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) se ha desarrollado un robot teledirigido (XF-ROVIM, *X. fastidiosa* - Remotely Operated Vehicle for Illness Monitoring in Orchards), en el marco del proyecto europeo XF-ACTORS, que incorpora un equipo de teledetección que incluye una cámara térmica, una cámara réflex de color y otra réflex modificada para capturar imágenes NDVI de alta resolución, una cámara multispectral de visible e infrarrojo capaz de capturar 9 bandas a una velocidad de 30 imágenes por segundo, un sistema de imagen hiperespectral (400 – 1000 nm) y un escáner láser LiDAR para obtener la estructura 3D del cultivo. El equipo se completa con un sistema de posicionamiento global (GPS), con una precisión de tres centímetros para geolocalizar los datos obtenidos de las plantas, y una unidad de medición inercial (IMU) para corregir los movimientos del robot al desplazarse por un terreno irregular. Una plataforma elevadora permite variar la altura de los sensores (entre 80 y 200 cm) para adaptarse al tama-

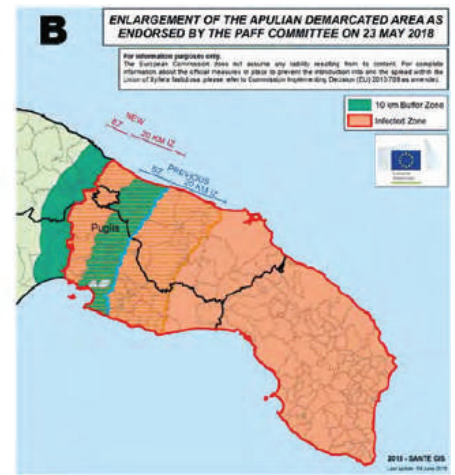


Figura 2. Campo de ensayos (a) y su localización (b) (fuente proyecto XF-ACTORS <https://www.xfactors-project.eu/enlargement-of-the-apulian-demarcated-area>)

ño de los árboles a analizar. Se ha optado por un robot teledirigido debido a la flexibilidad que ofrece para trabajar en entornos y cultivos diferentes.

Ensayos de campo

Para su ensayo en campo, el robot se trasladó a la provincia de Lecce (Italia) para realizar ensayos en un campo de olivos potencialmente infectados por *Xf*, dentro de la zona de contención de la infección demarcada por la UE en la región de Apulia (Figura 2b). Los ensayos se realizaron en septiembre de 2017 y junio de 2018 tras introducir algunas mejoras. El campo de ensayo contiene 430 árboles de las variedades Ogliarola y Cellina di Nardò. Los árboles, en general, presentaban ligeros síntomas de enfermedad debido a que es un campo en activo y el propietario poda las ramas en mal estado, por lo que su aspecto relativamente sano puede no corresponderse con su estado real. Durante los ensayos, el robot recorrió de forma sistemática todas las filas del campo capturando información de todos árboles. Debido a que las cámaras enfocan solamente a un lado, el robot realizó un recorrido de ida y vuelta por cada fila para capturar los árboles a ambos lados. Una vez terminadas todas las filas, se repitió la inspección en sentido perpendicular recorriendo todas las columnas para obtener así información de cuatro caras de cada árbol (Figura 2a).

El robot se programó para disparar las cámaras en cada metro de avance. Unos codificadores de pulsos situados en el eje de cada motor per-

mitían conocer la velocidad y avance del robot. El sistema de imagen hiperespectral capturaba la escena mientras el robot avanzaba, mientras que el GPS y el LiDAR capturaban los datos en modo libre (no sincronizado) a una frecuencia de 25 Hz. El sistema se controla mediante un ordenador industrial al que se conectan los codificadores de pulsos y todos los sensores. Toda la información se almacenaba en el disco de estado sólido del ordenador junto con el tiempo exacto de su captura (con una precisión de ms). Las tramas del GPS también se capturaban junto con el tiempo exacto de su captura, lo que ha permitido relacionar cada imagen con su localización exacta en el campo. Para realizar las oportunas correcciones de las imágenes, se capturaron imágenes de una carta de colores certificada y de un blanco de referencia con un 99% de reflectancia uniforme. Además, se realizó una evaluación visual de las cuatro caras de cada árbol inspeccionadas por el robot, anotando para cada cara un valor de 0 (sano) a 4 (abundancia de ramas muertas) (Zarco-Tejada y col., 2018).

Resultados

Los primeros ensayos han estado encaminados al desarrollo y puesta a punto del robot XF-ROVIM y los sensores. Las dos baterías de gel utilizadas permitieron inspeccionar un campo de 4 ha sin interrupciones, siendo fácilmente reemplazables en caso necesario. Los sensores funcionaron correctamente y de forma

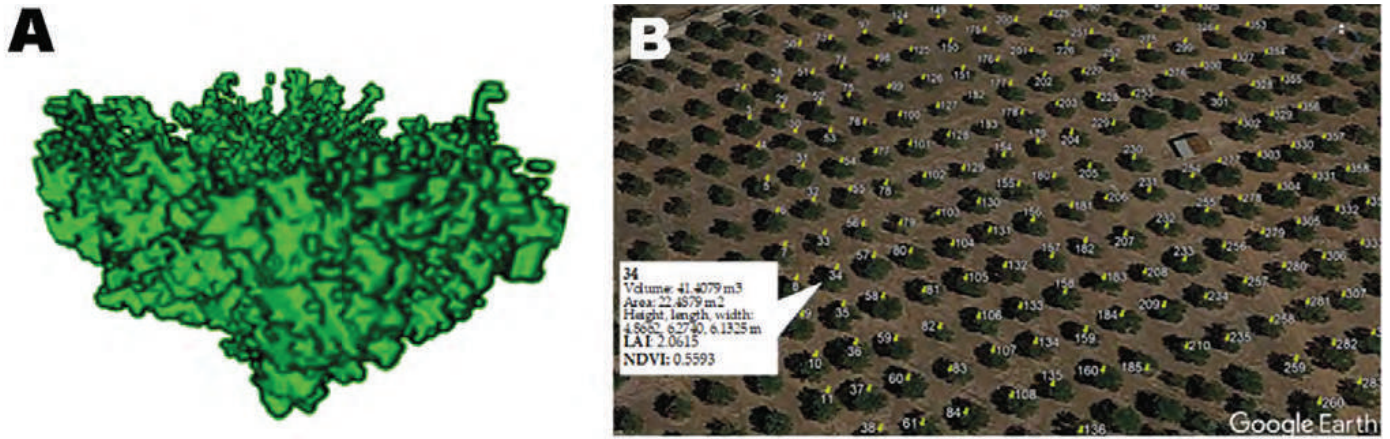


Figura 3. Estructura 3D estimada de un árbol (a) y captura de una pantalla de la aplicación Google Earth® mostrando la información obtenida de un árbol (b).

sincronizada con el avance del robot por el campo. Durante los ensayos, el robot funcionó correctamente, capturando la estructura de los árboles y más de 35000 imágenes de los árboles en diferentes regiones del espectro. Las imágenes hiperespectrales y térmicas aún están por procesar. Los primeros análisis de las imágenes de las cámaras réflex y la multispectral se han utilizado para obtener los índices vegetativos NDVI y BNDVI y compararlos con la observación visual de los árboles, ya que son unos de los índices más utilizados para determinar el estado vegetativo. Sin embargo, la correlación que se encontró entre el valor de estos índices para cada cara del árbol y su aspecto visual no fue buena ($R^2 < 0.45$), por lo que se considera que no son los más adecuados para obtener información sobre la infección. Por otra parte, a partir de los

datos proporcionados por el LiDAR, el GPS y la IMU, se ha obtenido la estructura 3D de cada uno de los árboles del campo (Figura 3a), a partir de la que se ha calculado el índice de área foliar (LAI). Esta se ha tratado de correlacionar de forma individual con las observaciones visuales, también con poco éxito. Por ello, se considera que será necesario analizar la información de las cámaras térmica e hiperespectral junto con los datos de estructura.

A partir de la información obtenida del LiDAR, se han creado archivos KML compatibles con Google Earth® de forma que los resultados obtenidos se pueden visualizar fácilmente de forma individual en un mapa pinchando sobre cada árbol (Figura 3b). Los siguientes pasos van encaminados a la obtención de nuevos índices vegetativos que, partiendo de la información espectral, se han de-

mostrado eficaces para la detección pre-visual de la infección (Zarco-Tejada y col., 2018), así como la creación de modelos predictivos multivariantes que incorporen toda la información obtenida por el robot. Para lograrlo, son necesarios nuevos ensayos y la realización de análisis moleculares de las hojas de los árboles bajo estudio, que determinen sin duda la presencia o ausencia de la infección, con el objetivo de comparar el resultado de estos análisis con las observaciones realizadas con esta técnica de teledetección.

Agradecimiento

Este trabajo se ha financiado parcialmente por el proyecto H2020 N° 727987 *Xylella Fastidiosa* Active Containment Through a Multidisciplinary-Oriented Research Strategy (XF-ACTORS).

Bibliografía

- ! Vergara-Díaz O, Zaman-Allah MA, Masuka B, Hornero A, Zarco-Tejada P, Prasanna BM, Cairns JE and Araus JL (2016) A Novel Remote Sensing Approach for Prediction of Maize Yield Under Different Conditions of Nitrogen Fertilization. *Front. Plant Sci.* 7:666.
- Pu, R. Detecting and Mapping Invasive Plant Species by Using Hyperspectral Data (2011). In *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation* (EPrasad S. Thenkabail, John G. Lyon, eds.) pp. 447-466. DOI: 10.1201/b11222-27.
- Zarco-Tejada, P.J.; Camino, C.; Beck, P.S.A.; Calderon, R.; Hornero, A.; Hernández-Clemente, R.; Kattenborn, T.; Montes-Borrego, M.; Susca, L.; Morelli, M.; Gonzalez-Dugo, V.; North, P.R.J.; Landa, B.B.; Boscia, D.; Saponari, M.; Navas-Cortes, J.A. Pre-visual symptoms of *Xylella fastidiosa* infection revealed in spectral plant-trait alterations, *Nature Plants*, 2018, 4,432-439
- Vicent, A.; Blasco, J. When prevention fails. Towards more efficient strategies for plant disease eradication. *New Phytologist*, 2017, 214, 905-908.