

**C. Fernández
- Quintanilla,
J.M. Peña,
D. Andújar y J. Dorado**

Instituto de Ciencias
Agrarias, CSIC, Madrid

A. Ribeiro

Centro de Automática
y Robótica, UPM-CSIC,
Arganda del Rey,
Madrid

F. López-Granados

Instituto de Agricultura
Sostenible, CSIC,
Córdoba

Últimos avances en tecnologías para la gestión localizada de las malas hierbas

La sostenibilidad es un concepto de máxima actualidad, siendo aplicable a todos los ámbitos de nuestra actividad cotidiana. Se habla de ciudades sostenibles, de transporte sostenible, de agricultura sostenible... Para llegar a la sostenibilidad se puede avanzar por dos caminos muy diferentes: a través de la ecología y/o a través de la tecnología. En este artículo nos vamos a centrar únicamente en este segundo camino. Dentro de este contexto, y en el ámbito específico del control de las malas hierbas, el concepto predominante es la llamada 'gestión localizada'. Esto significa, simplemente, utilizar la tecnología para ajustarse lo más posible a las condiciones variables presentes en cada parcela.

La gestión localizada de malas hierbas no es nada nuevo. Se ha practicado desde el comienzo de la agricultura. En ausencia de tecnologías más avanzadas, una persona escardando un campo realizaba tres procesos secuenciales: detección (utilizando como sensores sus ojos), toma de decisiones (utilizando su cerebro), y actuación (utilizando sus manos o con la ayuda de un escardillo). La tecnología actual permite realizar estos tres procesos de una forma mucho más rápida y eficiente. Para la detección disponemos de una variedad de sensores que se pueden colocar en plataformas móviles (tractores, drones, etc) o en la propia barra del pulverizador. La toma de decisiones la lleva a cabo un ordenador que puede ir situado en la cabina del tractor. Y la actuación la pueden realizar sistemas de control que abren y cierran automáticamente sectores de la barra de tratamientos (Figura 1).

Afortunadamente, disponemos de un rico arsenal de tecnologías maduras para realizar todas estas operaciones: sistemas de geoposicionamiento y de información geográfica, sensores y cámaras para captar la información, diversos tipos de plataformas aéreas y terrestres para llevar esos sensores, herramientas específicas para gestionar la información obtenida y maquinaria inteligente para llevar a cabo las operaciones de



Figura 1. Los tres procesos básicos en la gestión localizada de malas hierbas.

control, bien sea de forma química o mecánica.

A continuación, y como botón de muestra, vamos a presentar una serie de ejemplos de cómo se pueden llevar a cabo estas operaciones.

Detección

En lo referente a la detección, hace ya unos cuantos años un grupo del CSIC utilizó imágenes de satélite para detectar los rodales de avena loca (*Avena sterilis*) presentes en campos de trigo (Castillejo-González y col. 2014). Para ello se basaron en el hecho de que la avena loca suele madurar algo después que el trigo y

que sus panículas verdes sobresalen por encima de éste, con lo cual los rodales son fácilmente identificables a simple vista. En este estudio la detección se llevó a cabo desde un satélite situado a 45 km de altura con una resolución espacial de 2,4 m. De esta forma, era relativamente sencillo localizar los principales rodales existentes en cada parcela de una amplia zona geográfica, dado que la imagen utilizada cubría un total de 3000 ha. De este modo, fue posible evaluar un gran número de parcelas de trigo presentes en toda la comarca (Figura 2).

Al ser una detección tardía, esta información no nos permite realizar

actuaciones de control en esa misma campaña. Sin embargo, en el mencionado estudio se observó que en las imágenes obtenidas dos años después, tras un cultivo de girasol, la posición de los rodales de avena loca se mantenía bastante estable en los campos cultivados con trigo. Por tanto, parecía razonable utilizar el mapa de infestación obtenido al final de una campaña para confeccionar un mapa de tratamiento localizado en la siguiente campaña de cereal.

Obviamente, lo ideal es poder realizar una detección temprana, a tiempo para poder llevar a cabo los tratamientos en esa misma campaña. Dado que las imágenes de satélite no tienen la suficiente resolución para este fin, en investigaciones posteriores se trató de conseguir este objetivo utilizando imágenes obtenidas desde un avión volando a una altura mucho menor (Martin y col. 2017). Para ello se tomaron imágenes de una parcela de maíz desde 1000 m de altura, con una resolución espacial de 2 m. Estas imágenes permitieron identificar zonas de la parcela en las cuales las malas hierbas dominantes eran el cadillo (*Xanthium strumarium*), la cañota (*Sorghum halepense*) y el abutilon (*Abutilon theophrasti*), separándolas de aquellas otras zonas en las que el maíz estaba limpio de malas hierbas (Figura 3).

En los últimos años la disponibilidad de drones volando a muy baja altura ha supuesto una auténtica revolución en este campo. En la Figura 4 se puede ver una imagen tomada a 30 m de altura en una parcela de girasol, con un tamaño de píxel de 0,016 m (Lopez-Granados y col. 2016). A simple vista es posible identificar cada planta individual de girasol. A partir de esta imagen es posible construir un mapa de infestación siguiendo tres pasos (Peña y col., 2013). En el primero se separan los píxeles verdes (que corresponden a la vegetación) de los no verdes (que corresponden al suelo). En el segundo se separan los píxeles verdes que están en línea (que corresponden al cultivo) de los que están presentes entre líneas (que corresponden a las malas hierbas). Por último, se agrupan los píxeles que tienen una deter-

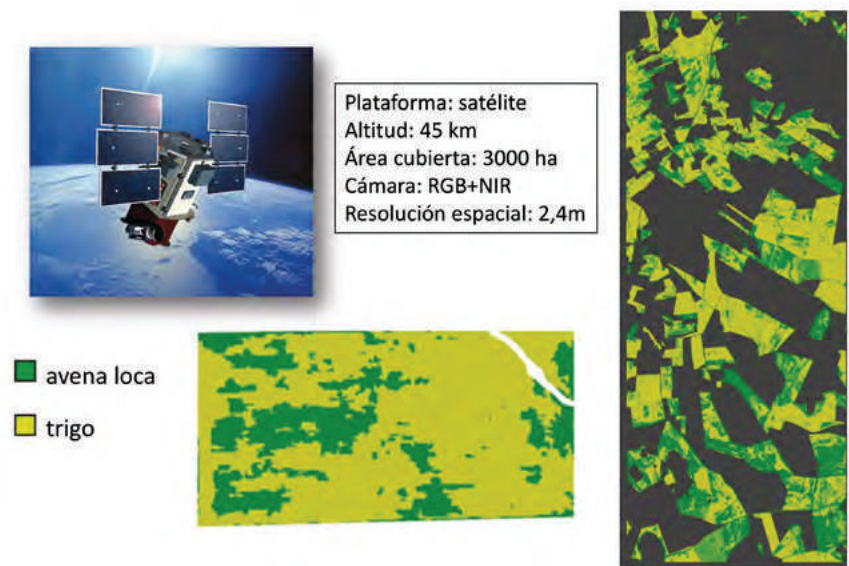


Figura 2. Detección por satélite de rodales de avena loca en parcelas de trigo en Andalucía.

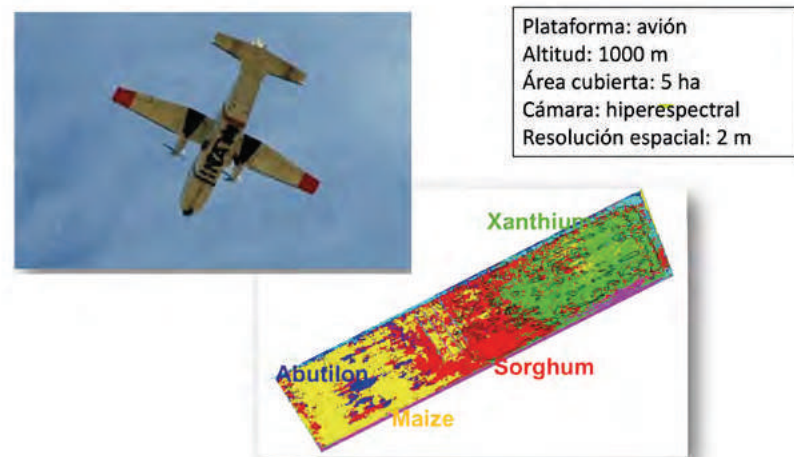


Figura 3. Detección desde un avión de infestaciones de diferentes malas hierbas en una parcela de maíz.

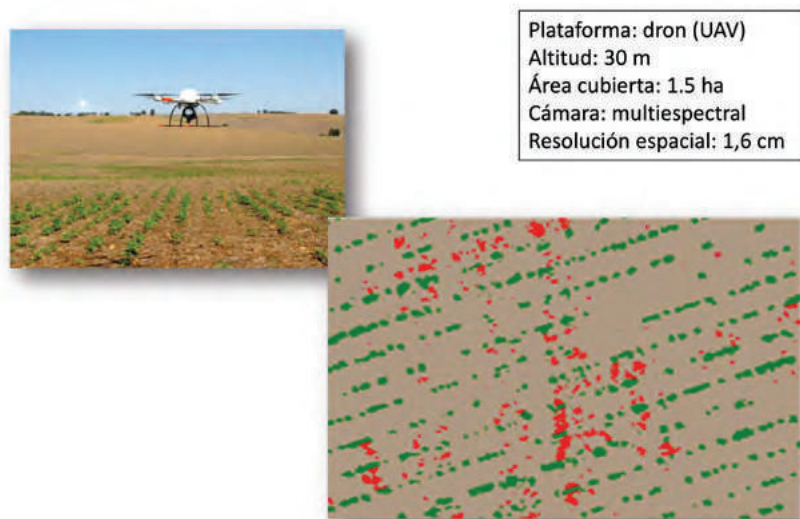


Figura 4. Imagen obtenida desde un dron volando a baja altura de una parcela de girasol infestada de malas hierbas.

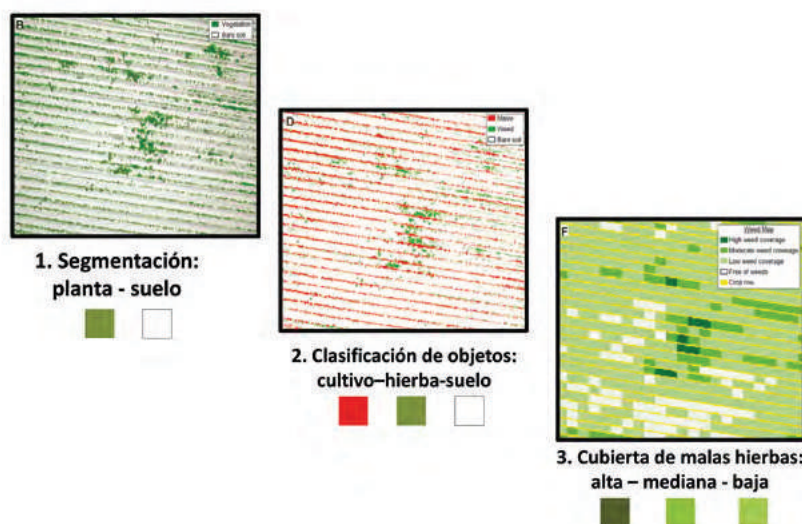


Figura 5. Pasos a seguir para construir un mapa de infestación de malas hierbas.

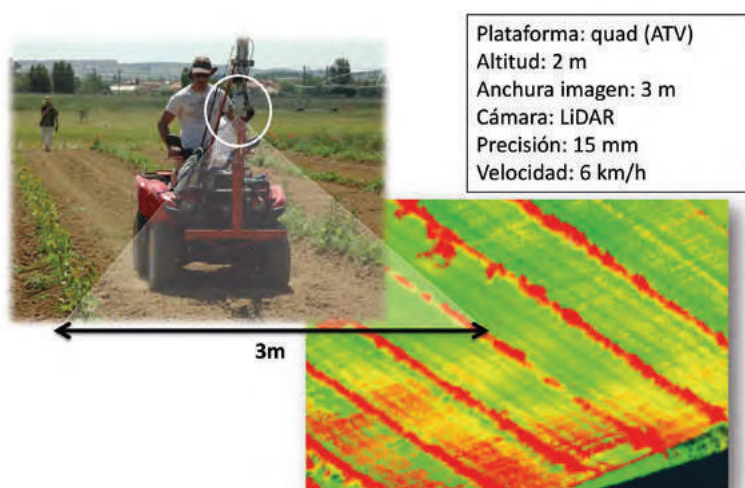


Figura 6. Inspección de una parcela de chopo para biomasa utilizando un quad y un sensor LiDAR.

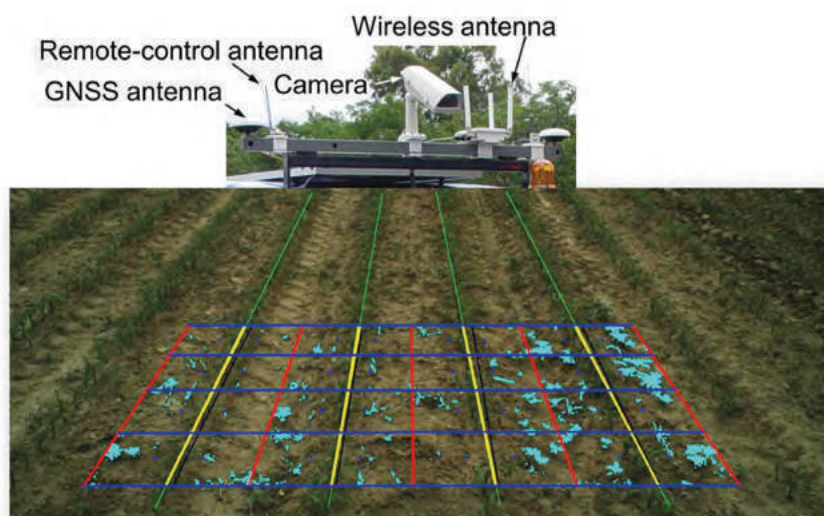


Figura 7. Utilización de una cámara de visión localizada en el tractor para la detección en tiempo real de infestaciones de malas hierbas en una parcela de maíz.

minada densidad, creando tres tipos de zonas, con infestaciones alta, media o baja (Figura 5).

Otra posibilidad es realizar la detección desde un vehículo terrestre. Esto nos puede permitir aproximarnos mucho más al objeto de interés. En la Figura 6 se puede ver un operario realizando una tarea de inspección utilizando un sensor láser (LiDAR) instalado en un vehículo de cuatro ruedas (quad) a 1,5 m de altura. En cada pasada del quad se puede evaluar la vegetación presente en cada franja de 3 m de ancho, tanto en lo

/ En los últimos años la disponibilidad de drones volando a muy baja altura ha supuesto una auténtica revolución en este campo /

referente al desarrollo del cultivo (en este caso chopo para biomasa) como a la presencia de malas hierbas. La precisión de estas medidas puede ser muy elevada (en este caso concreto, medidas de altura de planta de 15 mm, Andújar y col. 2016).

En el proyecto RHEA, un proyecto europeo llevado a cabo hace pocos años, un grupo investigador de la Universidad Complutense de Madrid desarrolló un sistema con una cámara situada en el techo del tractor que permitía ir obteniendo imágenes de una zona de 2 m x 3 m (Figura 7). A partir de dichas imágenes era posible detectar la posición de las líneas de maíz y localizar las manchas de vegetación que se encontraban en el medio de dichas líneas. De esta forma se pudo confeccionar en tiempo real un mapa de infestación de malas hierbas, con una resolución de 0,025 m (González de Santos y col. 2017).

Actuación

En lo referente a la actuación contra las malas hierbas, también existen varias alternativas que incluyen métodos de control tanto químicos como físicos. En el siguiente ejemplo (Figura 8) se muestra cómo es posible llevar a cabo tratamientos herbicidas de alta precisión utilizando equipos convencionales. En un trabajo realizado recientemente por un grupo investigador de la Universidad de Tuscia en Italia, se partió de imágenes obtenidas por un dron con información sobre la posición de las malas hierbas en un campo agrícola; estas imágenes se introdujeron en un monitor Trimble que controlaba la apertura y cierre de las diferentes secciones de una barra y, finalmente, esta información se pasó a un pulverizador Aguirre de 24 m con doce tramos independientes (Castaldi y col. 2017).

En este mismo ámbito, AgroSAP, una pequeña empresa cordobesa, ha desarrollado dentro del ya mencionado proyecto RHEA un pulverizador inteligente, utilizando también mapas generados previamente por un dron (Pérez-Ruiz y col. 2015). Este equipo dispone de un sistema de inyección que le permite abrir y cerrar individualmente cada una de las boquillas, realizando aplicaciones con una resolución de 0,5 m (Figura 9).

Lo último en este mundo de los pulverizadores inteligentes es el See & Spray, recientemente comercializado en EEUU por BlueRiver Technology (Figura 10). Esta empresa acaba de ser adquirida por John Deere, por lo que es de esperar que este equipo pronto tenga una amplia distribución geográfica. La tecnología que ofrece combina la parte de detección, siendo capaz de discriminar el cultivo y las malas hierbas mediante visión artificial, con la parte de actuación, empleando boquillas capaces de pulverizar de forma precisa únicamente las malas hierbas.

En lo referente a métodos de control físicos también hay desarrollos interesantes. Por ejemplo, dentro del proyecto RHEA un grupo investigador de la Universidad de Pisa desarrolló un apero combinado, con un cultivador convencional para el con-

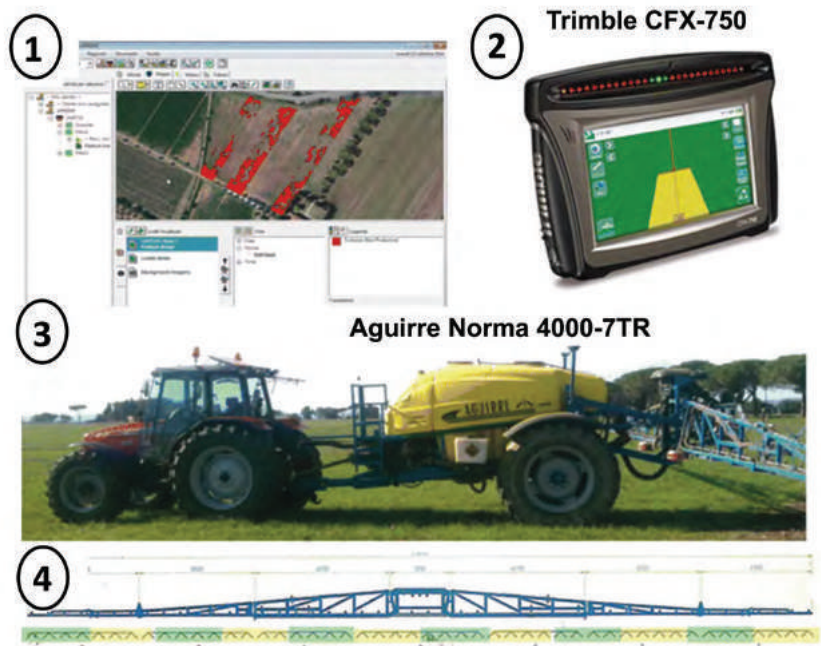


Figura 8. Ejecución de un tratamiento herbicida localizado utilizando equipos disponibles comercialmente.



Figura 9. Pulverizador de precisión desarrollado para utilizar mapas de infestación obtenidos previamente, realizando tratamientos con una resolución espacial de medio metro.



Figura 10. Pulverizador inteligente desarrollado y comercializado por BlueRiver Technology.

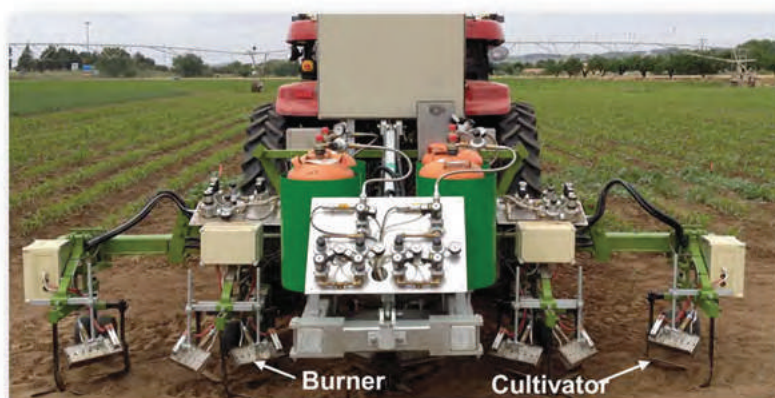


Figura 11. Apero combinado para el control mecánico de las malas hierbas en las entrelíneas del cultivo y control térmico en la línea.



Figura 12. Equipo Robocrop para el control mecánico de las hierbas tanto en la línea como en las entrelíneas.

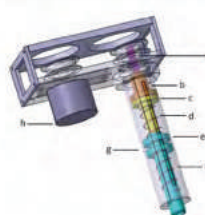


Figura 13. Escardador robótico inteligente Bonirob.

/ La adopción de estas tecnologías está siendo bastante lenta /

trol de malas hierbas entre líneas y unos quemadores de propano para el control dentro de la línea (Figura 11). El funcionamiento de estos quemadores está controlado por la cámara de detección desarrollada por la Universidad Complutense de la que hablamos anteriormente (González-de-Santos y col. 2017).

A nivel comercial, seguramente el equipo más conocido es el Robocrop (Figura 12), desarrollado por la empresa inglesa Garford, que permite controlar mecánicamente las malas hierbas, no solo entre líneas sino también entre plantas dentro de una línea (Tillet y col. 2008).

Lo último en escardadores inteligentes es el Bonirob (Figura 13), un equipo autónomo desarrollado por la empresa alemana Bosch, que dispone de un sistema muy ingenioso de percutor capaz de enterrar las plántulas individuales de malas hierbas una vez detectadas por una cámara.

Como conclusión, parece evidente que existe una considerable variedad de desarrollos tecnológicos que pueden facilitar mucho el control de las malas hierbas. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías por parte de los agricultores está siendo bastante lenta. Por ello, es necesario que los agricultores, cooperativas y empresas de servicios se involucren más en la búsqueda de soluciones técnicas.

Agradecimientos: Parte de los trabajos descritos anteriormente fueron llevados a cabo dentro del Proyecto TecnoGIM (AGL2014-52465) del Plan Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad o financiados con fondos FEDER. Las investigaciones de los doctores Peña y Andújar fueron financiadas por el Programa Ramón y Cajal (contratos RyC-2013-14874 y RyC-2016-20355).

Bibliografía

- Andújar D, Escolà A, Rosell-Polo JR y col. (2016) A LiDAR-Based System to Assess Poplar Biomass. *Gesunde Pflanzen* 68, 155-162.
- Castaldi F, Pelosi F, Pascucci S & Casa R (2017) Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture* 18, 76-94.
- Castillejo-González IL, Peña-Barragán JM, Jurado-Expósito M y col. (2014) Evaluation of pixel- and object-based approaches for mapping wildoat (*Avena sterilis*) weed patches in wheat fields using QuickBird imagery for site-specific management. *European Journal of Agronomy* 59, 57-66.
- González-de-Santos P, Ribeiro A, Fernández-Quintanilla C y col. (2016) Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture* 18, 574-614.
- López-Granados F, Torres-Sánchez J, Serrano-Pérez A y col. (2016) Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. *Precision Agriculture* 17, 183-199.
- Martin MP, Ponce B, Barreto L y col. (2017) The spatial distribution of Johnsongrass (*Sorghum halepense*), Common Cocklebur (*Xanthium strumarium*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in corn fields can be mapped through Airborne Hyperspectral Imaging (en preparación).
- Peña JM, Torres-Sánchez J, de Castro AI y col. (2013) Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *PLoS ONE* 8, e77151.
- Pérez-Ruiz M, González-de-Santos P, Ribeiro A y col. (2015) Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture* 110, 150-161.
- Tillet ND, Haghe T, Grundy AC & Dedousis (2008) Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99, 171-178.

Publicaciones PHYTOMA

editorial: PHYTOMA-España
número de páginas: 336
fecha de publicación: SEPTIEMBRE 2018
más de 250 ilustraciones

autores:
JOSÉ DEL MORAL DE LA VEGA
JERÓNIMO DEL MORAL MARTÍNEZ

El cambio climático y los modelos intensivos del olivar están exaltando la actividad de algunos de los parásitos y patógenos habituales del cultivo, aunque lo realmente peligroso es la aparición de otros nuevos, tales como la bacteria *Xylella fastidiosa*, la cochinilla *Praelongorthezia olivicola* o los micromicetos (*Neofusicoccum* spp.) de la madera.

El conocimiento de los 345 artrópodos y microorganismos descritos hasta hoy sobre el olivo, cuyas características morfológicas, biología y control se describen e ilustran en esta obra, es un paso necesario para conseguir la sostenibilidad del olivar en cualquier lugar del mundo, un cultivo que necesita estar preparado contra los efectos negativos actuales del cambio climático, la globalización y los sistemas intensivos de producción.

26€
IVA
incluido



¡NOVEDAD EDITORIAL!

ESPAÑA
PHYTOMA