

# Cartografía de *Cynodon dactylon* en viñedo mediante imágenes UAV y tecnología OBIA para un uso sostenible y localizado de herbicidas

Ana Isabel de Castro<sup>1✉</sup>, José Manuel Peña<sup>2</sup>, Jorge Torres-Sánchez<sup>1</sup>, Francisco M. Jiménez-Brenes<sup>1</sup>, Jordi Recasens<sup>3</sup>, Francisco Valencia<sup>3</sup>, Francisca López-Granados<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC), Córdoba

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC), Madrid

<sup>3</sup> Depto. Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. ETSEA. Universitat de Lleida. Lleida.

✉ anadecastro@ias.csic.es

**Resumen:** El manejo adecuado de las cubiertas vegetales en viñedos de regadío protege el suelo de la erosión y permite equilibrar el vigor y rendimiento de la viña, lo que redundará en una mejora de la calidad de la cosecha. Estas ventajas quedan mermaidadas con las infestaciones de grama (*Cynodon dactylon*) en las cubiertas, una especie perenne, altamente competitiva y difícilmente controlable. El objetivo de este trabajo consistió en la detección temprana y mapeo de *C. dactylon* en viñedos con cubierta vegetal mediante el uso de imágenes UAV (vehículos aéreos no tripulados) y técnicas de análisis de imágenes basadas en objetos (OBIA). El algoritmo desarrollado permitió la clasificación de los 4 usos principales presentes en el viñedo (viña, suelo desnudo, grama y cubierta vegetal) y la generación de mapas de grama para su control localizado, disminuyendo de esta manera el coste económico y medioambiental del tratamiento.

**Palabras clave:** viticultura de precisión, cubiertas vegetales, teledetección, análisis de imágenes basado en objetos (OBIA), mapa de manejo localizado de malas hierbas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La viticultura de precisión busca el manejo diferenciado del viñedo de acuerdo a la variabilidad espacio-temporal existente en la parcela, ajustándose las tareas y los tratamientos agrícolas a las necesidades reales de cada zona del cultivo. La aplicación de estas técnicas consigue reducir costes y aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad del sistema agrícola; beneficios promovidos por el actual marco político europeo y nacional, donde se aboga por el Uso Sostenible de Productos Fitosanitarios (Directiva 2009/128/CE, Reglamento (CE) 1107/2009 y Real Decreto 1311/2012), destacando «el fomento del bajo consumo (reducción de las aplicaciones) y la utilización de dosis adecuadas y ajustadas a la superficie a tratar». Una de las estrategias adoptadas por el sector vitivinícola para alcanzar una gestión más sostenible del sistema consiste en el uso de cubiertas vegetales, que han mostrado ser útiles para el control de algunas especies de malas hierbas consiguiendo reducir el uso de herbicidas (Ramírez Pérez and Lasheras Ocaña, 2015). Este sistema de cultivo permite además equilibrar el vigor y rendimiento de la viña, resultando en un aumento en la calidad de la cosecha, así como proteger el suelo contra la erosión, mejorar su estructura y oxigenación y aumentar la materia orgánica (Sagüés Sarasa et al., 2013). Sin embargo, el aumento progresivo de las poblaciones de la mala hierba *Cynodon dactylon* (L.) o grama, tanto en cubiertas naturales como en cubiertas sembradas en viñedos, está mermando estos beneficios. La grama es una especie gramínea perenne altamente competitiva, de latencia invernal y un agresivo desarrollo de estolones rastreros y

rizomas subterráneos principalmente en verano, por lo que incide en la disponibilidad de agua del suelo (Valencia et al., 2015). Asimismo, al ser rastrera no se ve afectada por las siegas periódicas realizadas a las cubiertas, lo que favorece su desarrollo pudiendo llegar a invadir la hilera de cepas. Una vez que infesta la zona de la cepas se convierte en una mala hierba de muy difícil control debido a las escasas herramientas químicas disponibles.

El diseño de mapas de manejo y/o tratamiento localizado de malas hierbas dentro del contexto de Viticultura de Precisión, requiere conocer la posición y densidad de los rodales de las mismas dentro del viñedo (Peña et al., 2013), de manera que se aplique el herbicida o la medida de control adecuada solo en aquellas zonas infestadas de la parcela. En este sentido, los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs, por sus siglas en inglés) o drones han demostrado ser una herramienta muy útil y eficiente para monitorizar los cultivos y las malas hierbas asociadas gracias a la elevada resolución de imagen que ofrecen y permitir la adquisición de imágenes en momentos críticos del cultivo (Zhang et al., 2014), por lo que han generado un destacado interés del sector agrario en general y de la viticultura en particular (Matese et al., 2015).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en la detección de grama en viñedos con cubierta vegetal y, seguidamente, el diseño de mapas de tratamiento localizado aplicando tecnología basada en UAV. Esta investigación se enmarca dentro de los objetivos del proyecto TecnoGIM que busca aportar los conocimientos, conceptos y herramientas tecnológicas necesarios en el desarrollo de estrategias de Gestión Integrada de Malas hierbas, lo que permitirá reducir notablemente del uso de productos fitosanitarios mediante su aplicación localizada, así como la realización de tareas agrícolas más eficientes.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

**2.1. Adquisición y pre-procesado de las imágenes.** Los vuelos fueron realizados con un quadrotor modelo md4-1000 (microdrones GmbH, Siegen, Alemania) (Fig. 1a) equipado con una cámara convencional de bajo coste (Olympus PEN E-PM1) a 30 m de altura en febrero-2016, con un solapamiento transversal y longitudinal que permitiese el posterior mosaicado preciso de las imágenes. En este trabajo se presenta el análisis de las imágenes tomadas en una parcela de viña localizada en Raimat (LLeida), variedad *Pinot Noir*, situada en espaldera con 3 m de distancia entre hileras y cobertura vegetal naturalmente instalada e infestada de grama (Fig. 1b).

Como paso previo al análisis, las imágenes individuales se ortomosaicaron y se generó el modelo digital de superficies (MDS) (Fig. 2a) con el programa Agisoft Photoscan Professional 1.2.4

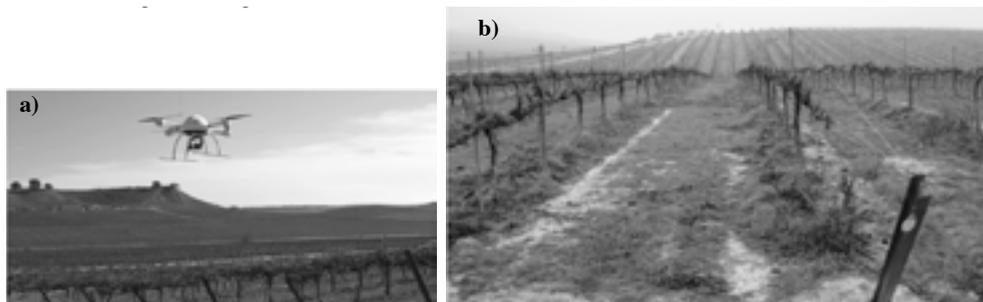


Figura 1. a) Dron modelo md4-1000 durante el vuelo; b) Detalle de una de las calles del viñedo sobrevolado en el estudio.

(Agisoft LLC, San Petersburgo, Rusia). Este pre-proceso permitió obtener una única imagen de toda la parcela con información espectral (Azul-Verde-Rojo) y espacial (X, Y, Z) de cada punto de la misma (Fig. 2b).

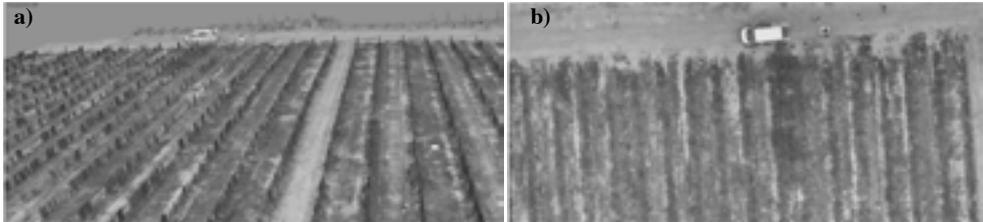


Figura 2. a) Detalle del MDS; b) Detalle de la imagen mosaicada generada para la parcela de viña.

**2.2. Análisis de las imágenes.** Nuestra hipótesis de trabajo consistió en la detección temprana de *C. dactylon* durante su parada vegetativa y cuando la cubierta aún no ha emergido o está en inicios de emergencia. Si se retrasara la toma de las imágenes, la cubierta vegetal estaría en pleno desarrollo y cubriría parcialmente la infestación de grama imposibilitando así su detección. Sin embargo, durante la parada vegetativa existe un problema de similitud espectral entre la mala hierba, el suelo y la cubierta, lo cual ha sido solventado recurriendo a técnicas de análisis de imagen basada en objetos (algoritmos OBIA, de Object-Based Image Analysis). Las técnicas OBIA son un método automático de clasificación de imágenes que permite incorporar en los algoritmos, además de la información espectral, información contextual de la parcela tales como la posición de la mala hierba con respecto a la línea de viña, el tamaño de las plantas, o parámetros de textura de los objetos presentes en la imagen (Peña et al., 2013). Para este estudio, se desarrolló un algoritmo que genera mapas formados por los 4 usos principales que conforman la parcela: viña, cubierta vegetal, suelo desnudo y grama. Las fases seguidas por el algoritmo son las siguientes:

Fase 1. *Segmentación de la imagen:* formación de *objetos* homogéneos o *agrupaciones de píxeles* que representen plantas individuales, utilizando información espacial y espectral.

Fase 2. *Clasificación de las cepas:* basado en la información espacial obtenida por el MDS generado, que permite reconocer cada una de las cepas de viña comparando alturas con el suelo circundante, según metodología de Torres et al. (2017).

Fase 3. *Clasificación de la cubierta vegetal:* generación de índices de vegetación, que son ratios entre las bandas de la imagen que resaltan ciertas características de la vegetación, a partir de la información espectral. Se seleccionó el Color index of vegetation (CIVE) (Kataoka et al., 2003) por su efectividad en resaltar la vegetación verde de las plantas que conforman la cubierta vegetal.

Fase 4. *Clasificación de la grama:* mediante el índice Excess Green minus Excess Red (ExGR) (Neto, 2014), seleccionado en estudios estadísticos previos donde alcanzó una alta precisión en la separación grama-suelo desnudo.

Fase 5. *Clasificación del suelo desnudo:* los objetos remanentes en la imagen fueron clasificados como suelo.

**2.3. Validación.** La precisión del mapa de clasificación fue evaluado a partir de datos verdad-terreno tomados en campo el mismo día de la toma de la imagen. Se georreferenciaron en campo una serie de marcos de aluminio de 1x1m, en los que se tomaron datos de la vegetación

presente (Fig. 3). Los marcos fueron clasificados en función del porcentaje de infestación y comparados con los datos verdad-terreno obtenidos en campo.

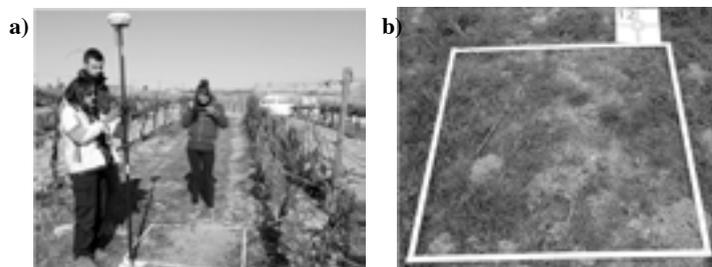


Figura 3. a) Toma de datos en campo y georreferenciación de marco de muestreo en el viñedo; b) Detalle de uno de los marcos utilizados en el trabajo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El algoritmo desarrollado consiguió la **clasificación del 100% de las cepas** presentes en el viñedo (Fig. 4), demostrando así la necesidad y eficiencia de la información espacial aportada por el MDS. Sin esta información no habría sido posible aislar cada una de las viñas dada la similitud espectral con las cubiertas. Este desarrollo permitió también la obtención de parámetros morfológicos de cada una de las cepas (p.ej, altura, diámetro, área proyectada y volumen). Las cubiertas vegetales fueron correctamente clasificadas de acuerdo a la información recogida en cada uno de los marcos utilizados como verdad-terreno, incluso aquellas plántulas de menor tamaño (Fig. 5). Estos resultados señalan la importancia del uso de imágenes UAV que permiten obtener imágenes de alta resolución espacial, en este caso de 1 cm de tamaño de píxel, así como el uso del índice CIVE especializado en resaltar aquellos objetos de color verde.

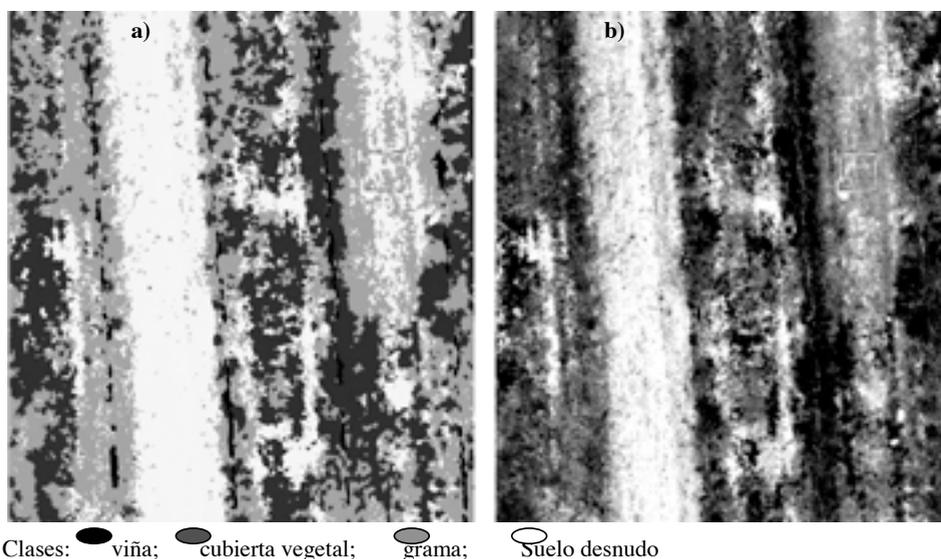


Figura 4. a) Detalle de la imagen clasificada; b) Detalle de la imagen mosaicada.

La precisión alcanzada en la detección de la grama fue calculada en función del porcentaje correctamente clasificado por el algoritmo en cada marco (Fig. 5), según las clases: Baja (grama <5%); Media (grama=5-30%); Alta (grama >30%), obteniendo un valor de exactitud en la clasificación del 100%, 71,4% y de 80%, respectivamente, lo que ofreció un valor de fiabilidad global del mapa clasificado de 83,3%. En el caso de marcos con cobertura de grama Baja o Alta, se consiguió una detección precisa, disminuyendo en los marcos con cobertura Media, donde la grama presentó un color más claro y menor densidad. Esta situación ocasionó una clasificación errónea de algunos de estos objetos como suelo debido a la influencia en la respuesta espectral del suelo que se dejaba entrever. Estos primeros resultados presentan un elevado porcentaje de acierto en las clasificaciones y ha supuesto un gran desafío en teledetección dada la complejidad de detectar pequeñas plántulas de grama con un comportamiento espectral muy similar al del suelo y al de las cubiertas en el momento de la toma de la imagen. Actualmente estos resultados están siendo mejorados incorporando parámetros de textura que permiten separar de forma más precisa la grama presente en las cubiertas vegetales de la viña.

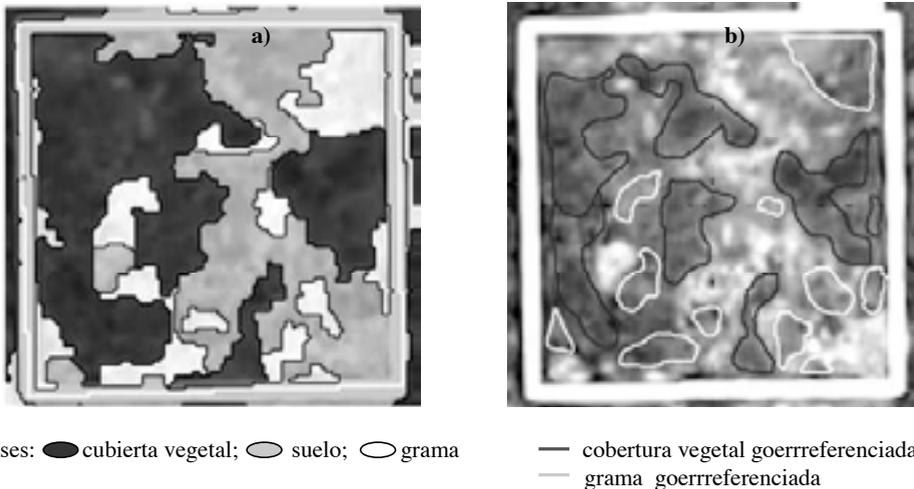


Figura 5. a) Detalle de un marco verdad-terreno en la imagen clasificada; b) Información verdad-terreno georreferenciada del mismo marco.

El algoritmo automático desarrollado mediante técnicas OBIA aplicado a imágenes UAV permite la cartografía temprana de los principales usos presentes en el viñedo (viña, suelo, cubiertas vegetales y grama). Aunque se trate de un momento complicado para la detección de la grama, los mapas generados en ese momento ofrecen al viticultor una herramienta útil de apoyo en la toma de decisiones que podría utilizarse en esa misma campaña, ya que los tratamientos de grama se llevan a cabo durante la primavera (generalmente de abril a junio). Al realizar los tratamientos herbicidas únicamente en las zonas de presencia de grama, se obtendría una disminución del coste económico y medioambiental de su manejo. Además, si se cartografiaran los rodales de grama y se controlan durante 2-3 años agrícolas, se podría erradicar la mala hierba y favorecer el paso a producción ecológica, aumentando su valor añadido.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a RAIMAT S.A. (Lleida) el uso de sus parcelas para realizar los vuelos. Esta investigación fue financiada por el proyecto AGL2014-52465-C4-4R (Ministerio de Economía y Competitividad, fondos FEDER: Fondo Europeo de Desarrollo Regional). La investigación del Dr. Jorge Torres-Sánchez, Dr. Ana de Castro y el Dr. José M. Peña fue financiada por los programas FPI (BES-2012-052424), Juan de la Cierva (MINECO) y Ramón y Cajal (MINECO), respectivamente.

#### 5. REFERENCIAS

- Kataoka T, Kaneko T, Okamoto H and Hata S (2003). Crop growth estimation system using machine vision. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. Proceedings, pp. b1079-b1083 vol.2. Kobe (Japan).
- Matese A, Toscano P, Di Gennaro SF, Genesio L, Vaccari FP, Primicerio J, Belli C, Zaldei A, Bianconi R, Gioli B (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*, 7, 2971-2990.
- Neto JC (2004). A combined statistical—soft computing approach for classification and mapping weed species in minimum tillage systems. University of Nebraska, Lincoln, NE.
- Peña JM, Torres-Sánchez J, de Castro AI, Kelly M and López-Granados F (2013). Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *PLoS ONE*, 8: e77151.
- Ramírez Pérez P & Lasheras Ocaña JM (2015). *Guía de Cubiertas vegetales en vid*. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía, Andalucía (España).
- Sagüés Sarasa A, Aguirrezabal Bujanda F, Cibrián Sabalza F, Caminero Lobera L and Suberviola Rípa J (2013). *Gestión del suelo vitícola: cubiertas vegetales e incidencia en la calidad del mosto y vino*. ACENOLOGÍA, Asociación catalana de Enólogos. [http://www.acenologia.com/cienciaytecnologia/gestion\\_suelo\\_viticola\\_cienc0813.htm](http://www.acenologia.com/cienciaytecnologia/gestion_suelo_viticola_cienc0813.htm).
- Torres-Sánchez J, López-Granados F, Jiménez-Brenes FM, Borra-Serrano I, de Castro AI and Peña JM (2017). 3-D Vineyard monitoring with UAV images and a novel OBIA procedure for precision viticulture applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (en revisión).
- Valencia F, Civit J, Esteve J and Recasens J (2015). Cover-crop management to control *Cynodon dactylon* in vineyards: balance between efficiency and sustainability. *7th International Weed Science Congress*, Proceedings, 228. Prague (Czech Republic).
- Zhang C, Walters D and Kovacs JM (2014). Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests— A Case Study in Northeastern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, 9(11): e112894.

---

#### Mapping *Cynodon dactylon* in vineyard by using UAV-images and OBIA technology for site-specific weed management

**Summary:** The use of cover crops is a usual management practice for irrigated vineyards that allows controlling vineyard vigor and yield, also improving the crop quality. However, those advantages have been reduced by bermudagrass (*C. dactylon*) populations infesting cover crop areas. Bermudagrass is a perennial, very competitive grass and tolerant of reap, pretty difficult to control. The objective of this research was the early mapping of *C. dactylon* patches in order to provide an optimized site-specific weed management. Object-based image analysis (OBIA) techniques applied to unmanned aerial vehicle (UAV) imagery solved the limitation of spectral similarity between bermudagrass and cover crops or bare soil. The classified maps showed the four main classes in the vineyard (vine, cover crop, *C. dactylon* and bare soil) with 85% overall accuracy, that allow developing new strategies for site-specific control of *C. dactylon* infestations and decreasing economical and environmental costs.

**Keywords:** precision viticulture, cover green, remote sensing, object-based image analysis (OBIA), site-specific weed map.