

Manejo, dinámica espacio-temporal y detección aérea de rodales de *Cynodon dactylon* en viñedos con cubierta vegetal

RECASENS J¹, CABRERA C¹, VALENCIA-GREDILLA F¹, DE CASTRO AI²,
ROYO-ESNAL A¹, TORRES-SÁNCHEZ J², CIVIT J³, JIMÉNEZ-BRENES FM²,
LÓPEZ-GRANADOS, F²

¹Grupo de Malherbología y Ecología vegetal. Dpto HBJ. ETSEA. Agrotecnio. Universitat de Lleida.
Avda. Rovira Roure 191. 25198 Lleida.

jrecasens@hbj.udl.cat; carlos.cabrera@udl.cat; francisco.valencia@hbj.udl.cat; aritz@hbj.udl.cat

²Grupo Imaping. Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC. Córdoba.
anadecastro@ias.csic.es; jtorres@ias.csic.es; fmjimenez@ias.csic.es; flgranados@ias.csic.es

³Codorníu-Raventós. Raimat, Lleida.

j.civit@codorniu.es

Resumen: En viñedos con cubierta vegetal, la grama (*Cynodon dactylon*) puede devenir una de las malas hierbas más persistentes ante su dificultad de control dado su desarrollo mediante rizomas y estolones. La selección y manejo de una cubierta plurianual y competitiva puede influir en la evolución de esas infestaciones. A su vez, la cartografía de los rodales de grama a escala parcela mediante análisis de imágenes provenientes de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) y la validación de estos análisis con los mapas obtenidos a partir de muestreos en diferentes puntos en el campo, puede permitir abordar una estrategia de control localizado dirigida únicamente a las zonas infestadas. En el presente trabajo se verifica la competencia efectiva tras la instalación y mantenimiento de una cubierta de *Festuca arundinacea* que, partiendo de un gradiente inicial de infestación de grama (5-19%; 20-34% y 35-55%), redujo, al cabo de cuatro años, la infestación hasta unos porcentajes de cobertura bajos (<10%). A su vez, en el cuarto año del estudio y en este escenario de baja cobertura de grama, se generaron mapas de infestación a través del análisis de imágenes-UAV con una alta precisión según los muestreos de campo (> 62%). Estos resultados ofrecen una herramienta robusta al viticultor para diseñar un programa de control localizado de *C. dactylon* presente en viñedos con la cubierta vegetal.

Palabras clave: control, grama, mala hierba, *Festuca arundinacea*, análisis de imagen, mapa de tratamiento localizado.

1. Introducción

El control de malas hierbas en viñedos suele realizarse mediante labores del suelo y/o el uso de herbicidas. Ambos métodos pueden llegar a ser eficaces, pero implican ciertos riesgos asociados como son la erosión del suelo o la selección de biotipos de malas hierbas resistentes a herbicidas, respectivamente. La implementación de una cubierta vegetal constituye una herramienta eficaz en el control de malas hierbas (Baumgartner et al., 2008) y permite limitar los fenómenos de erosión y escorrentía (Gómez et al., 2011) e incluso mejorar la calidad del mosto y del vino (Ibáñez, 2015). En función del tipo de malas hierbas más abundantes en el viñedo, la siembra de una cubierta específica puede ejercer una presión adecuada y evitar la expansión de la infestación. En un trabajo previo (Valencia et al., 2017) se verificó que las labores de preparación de una cubierta de *Festuca arundinacea* Schreb., permitían disminuir la presencia de la grama (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). No obstante, la expansión y persistencia de los rodales de grama pueden verse influidas por la mayor o menor competencia que ejerza la cubierta vegetal establecida y por el manejo que de ésta se lleve a cabo. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar, al cabo de cuatro años, cómo evolucionan las infestaciones de grama en función de la magnitud inicial de la infestación y en función del sistema de manejo. Además, en este cuarto año se ha realizado un estudio con el fin de cartografiar los rodales de *C. dactylon* a escala parcela mediante análisis de imágenes provenientes de un vehículo aéreo no tripulado (UAV), validando los análisis con los mapas obtenidos a partir de muestreos de campo en diferentes puntos. Esta información puede permitir el establecimiento de un programa de tratamiento localizado de la mala hierba.

2. Material y métodos

Durante los últimos cuatro años (2015-2019) se ha llevado a cabo un ensayo en una parcela de viña cv. “Pinot Noir” en Raimat (Lleida), con el fin de evaluar el grado de expansión que muestra *C. dactylon* en función del porcentaje inicial de infestación y del efecto competitivo de la cubierta vegetal implementada.

2.1. Instalación y manejo de la cubierta. En septiembre de 2015 se establecieron distintos puntos de muestreo (microparcels) de 10 × 3 m en las calles de viña, partiendo de diferente porcentaje inicial de cobertura de grama. Los rangos de cobertura fueron: 5-19%, 20-34% y 35-55%. En noviembre de 2015 se labró la parcela y se sembró una cubierta de *F. arundinacea*. El mantenimiento del suelo se ha venido realizando con herbicida bajo las cepas y pases de picadora sobre la cubierta. Durante los últimos cuatro años se han realizado muestreos periódicos de presencia y cobertura de grama en las microparcels. Los distintos valores de cobertura de grama en cada fecha de muestreo y para cada rango de infestación inicial fueron analizados mediante ANOVA.

2.2. Adquisición y pre-procesado de las imágenes. En febrero de 2019 se tomaron imágenes mediante un UAV modelo quadrotor md4-1000 (microdrones GmbH, Fig. 1a) equipado con una cámara Olympus PEN E-PM1 (espectro Rojo-Verde-Azul, RGB) a una altitud de 30 m, con elevados solapamientos transversal y longitudinal. Las

imágenes individuales fueron procesadas con el programa Agisoft Photoscan Professional 1.4.4 para crear un Modelo Digital de Superficie y una imagen ortomosaicada de toda la parcela de viñedo con información espectral (RGB) y espacial (X, Y, Z) de cada punto de la misma.



Figura 1. a) Drone modelo md4-1000 durante el vuelo; b) detalle de una de las calles del viñedo: cubierta de *Festuca arundinacea* (color verde) y rodales de *Cynodon dactylon* (amarillento).

2.3. Análisis de las imágenes. La hipótesis de trabajo consistió en la detección temprana de *C. dactylon* durante su parada vegetativa (color amarillento, Fig. 1b) y cuando *F. arundinacea* estaba en el inicio de su rebrote (color verde, Fig. 1a). El algoritmo automatizado de análisis de imagen está basado en *objetos* (OBIA, del inglés *Object-Based Image Analysis*). Su ventaja con respecto al análisis basado en *píxeles* radica en que aumenta la precisión de los mapas obtenidos ya que se incorporan datos espectrales e información contextual de la parcela, que en este caso son la posición y tamaño (altura) de *C. dactylon* con respecto a la hilera de cepas. El algoritmo OBIA se diseñó para generar mapas de los cuatro usos principales de suelo que conformaban la parcela: hilera de cepas, cubierta vegetal de *F. arundinacea*, suelo desnudo y grama. En la ortoimagen de la parcela se tomaron 150 muestras de cada una de estas clases para estudiar las variables con más poder discriminatorio en la posterior clasificación de la imagen de forma que las variables seleccionadas fueron implementadas en el algoritmo OBIA. En el análisis OBIA se utilizó *eCognition Developer 9.1*. Más información en De Castro et al. (2018) y Jiménez-Brenes et al. (2019).

2.4. Validación. La precisión del mapa de clasificación obtenido fue evaluada a partir de datos verdad-terreno de *presencia de grama* tomados el mismo día de la adquisición de la imagen en las microparcels comentadas en el apartado 2.1. Dichas microparcels estaban divididas en 120 celdillas, en base a las cuales se hizo la comparación de presencia utilizando la ecuación 1, en la que “*Celdillas correctamente clasificadas*” se refiere a la suma de celdillas en las que se detecta presencia de grama tanto en campo como a través del análisis de imagen, más las celdillas en las que no se detecta grama ni en el campo ni en el análisis de imagen.

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Celdillas correctamente clasificadas}}{\text{Celdillas totales}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

3. Resultados y discusión

En noviembre 2015, justo después de las labores de implantación de la cubierta, los porcentajes de cobertura de grama se redujeron en promedio un 58%. En esta fecha, estos porcentajes fueron, para los tres rangos de infestación considerados, inferiores a un 10% (Tabla 1). Tras cuatro años, en febrero 2019, los porcentajes de cobertura de grama se mantuvieron a unos niveles similares o inferiores a noviembre 2015 (con valores entre un 2,2% y un 13,1%), pero sin diferencias significativas entre fechas.

Tabla 1: Evolución del porcentaje de cobertura de *Cynodon dactylon* tras la instalación de una cubierta de *Festuca arundinacea* y en función del rango de infestación inicial. Entre paréntesis se indica el error estándar.

Septiembre 2015	Noviembre 2015	Febrero 2016	Febrero 2019
Rango inicial (%)	%	%	%
5-19	7 ($\pm 3,4$)	1,9 ($\pm 0,47$)	2,2 (± 1)
20-34	10 ($\pm 1,39$)	4,7 ($\pm 0,81$)	13,1 ($\pm 4,61$)
35-55	9,2 ($\pm 1,29$)	9,2 ($\pm 1,29$)	9,8 (± 2)

No se han observado diferencias significativas entre valores de cobertura para cada fecha de muestreo, ni entre fechas para un mismo gradiente de infestación inicial.

Las labores de implantación de la cubierta permitieron reducir el nivel de infestación inicial de *C. dactylon* ya que la cubierta de *F. arundinacea* ejerció durante los siguientes años una competencia efectiva limitando su expansión. Similares resultados han sido observados también en otras parcelas de viñedo (Valencia et al., 2017). Esta menor infestación coincide con un menor número rodales localizados mediante análisis de imágenes aéreas.

En febrero de 2019, la precisión obtenida de la presencia de grama mediante la clasificación automática de las imágenes-UAV fue elevada (Tabla 2), ya que llegó a alcanzar valores de coincidencia superiores al 80% en tres de las nueve microparcels estudiadas, en otras dos estuvo entre el 70 y el 80%, y en el resto de microparcels fue $> 62\%$. En la Figura 2 se presentan varios ejemplos de microparcels en los que se puede apreciar la coincidencia entre la evaluación realizada en campo y la obtenida de manera automática mediante el algoritmo OBIA diseñado en las imágenes-UAV. Dicha coincidencia es patente incluso en la microparcels 9, en la que los resultados numéricos de precisión no están entre los mejores (precisión = 62,5%) (Tabla 2). Los menores valores de precisión obtenidos en varias microparcels pueden estar relacionados con pequeñas discrepancias de localización entre el replanteo de la microparcels para realizar los muestreos de campo y su ubicación sobre la imagen ortomosaicada. Estas ligeras diferencias de colocación podrían provocar que, aunque se detecte la presencia de grama, su posición no coincida completamente con la registrada en campo, produciéndose pequeños desplazamientos en el mapa.

Aunque los valores de precisión obtenidos hasta el momento son satisfactorios, se trabajará en el futuro en optimizar el algoritmo OBIA para mejorarlos y comprobar que son extrapolables a otras parcelas de viñedo que presenten un conjunto similar de usos de suelo.

Tabla 2: Grado de coincidencia entre el muestreo de campo y el análisis de las imágenes-UAV respecto a la presencia o no de grama.

	Microparcels								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Precisión (%)	80,8	91, 7	80,0	66,7	65,8	67,5	70,8	76,7	62,5

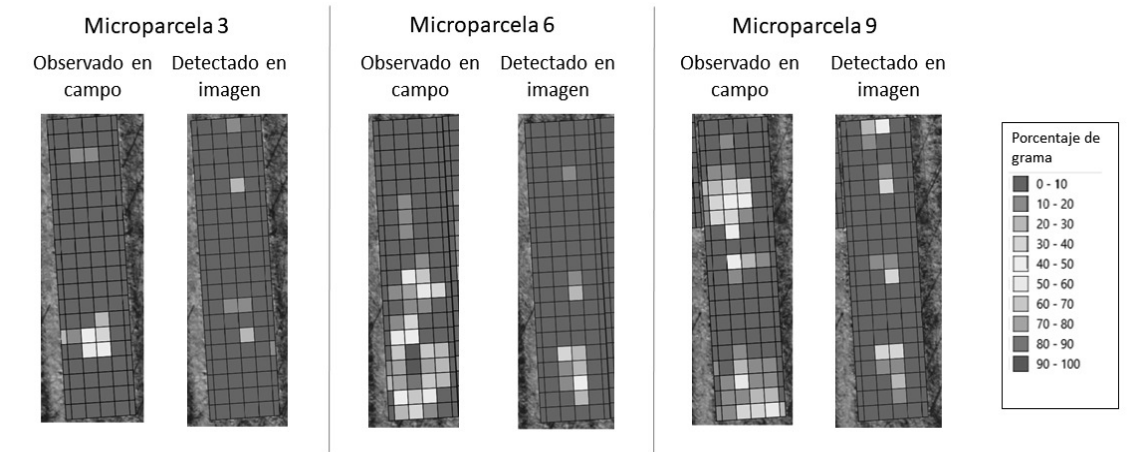


Figura 2. Comparativa en distintas microparcels de viñedo entre la cobertura de grama observada en campo y la detectada mediante el algoritmo OBIA desarrollado sobre las imágenes-UAV.

4. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por sendos Proyectos del Plan Estatal - Retos de la Sociedad, refs: AGL2017-83325-C4-2-R y AGL2017-83325-C4-4-R (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Fondos EU-FEDER). C. cabrera y F. Valencia-Gredilla han contado con una beca predoctoral otorgada por la Universitat de Lleida.

Referencias

BAUMGATNER K, STEENWERTH KL, VEILLEUX L (2008). Cover-crop systems affect weed communities in California vineyards. Weed Science 56: 596-605.

DE CASTRO AI, JIMÉNEZ-BRENES FM, TORRES-SÁNCHEZ J, PEÑA JM, BORRA SERRANO I, LÓPEZ-GRANADOS F (2018) 3-D Characterization of vineyards using a novel UAV imagery-based OBIA procedure for precision viticulture applications. *Remote Sensing* 10, 584.

GÓMEZ JA, LLEWELLYN C, BASCH G, SUTTON PB, DSON JS, JONES CA (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4), 502–514.

IBÁÑEZ S (2015). Mantenimiento del suelo en el viñedo mediante cubiertas vegetales. Ed. Gobierno de la Rioja. 167 p.

JIMÉNEZ-BRENES FM, LÓPEZ-GRANADOS F, TORRES-SÁNCHEZ J, PEÑA JM, RAMÍREZ P, CASTILLEJO-GONZÁLEZ IL, DE CASTRO AI (2019) Automatic UAV-based detection of *Cynodon dactylon* for site-specific vineyard management. *PLoS One*, 14(6): e0218132. doi.org/10.1371/journal.pone.0218132 (Open Access)..

VALENCIA F, MAS N, RECASENS J (2017) El uso de cubiertas vegetales y sus labores de implantación en el manejo de *Cynodon dactylon* en viñedo. *Actas del XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*: 147-151. Pamplona.

Management, spatio-temporal dynamics and aerial detection of *Cynodon dactylon* patches in vineyards with cover crops

Summary: The use of cover crops is a usual management practice for irrigated vineyards that allows reducing erosion, controlling weeds and improving vineyard vigor, yield, and crop quality. These advantages can be reduced when bermudagrass (*Cynodon dactylon*) infests cover crop areas. However, previous works have demonstrated that the use of *Festuca arundinacea* as cover crop decreases *C. dactylon* presence.

The objective of this research was to study the spatio-temporal effect of *F. arundinacea* on *C. dactylon* infestations over four years. Additionally, the early mapping of *C. dactylon* patches using an automatic object-based image analysis (OBIA) algorithm developed on orthomosaicked UAV-imagery was also generated the fourth year of study in order to provide an optimized site-specific weed management. The classified maps showed the four main classes in the vineyard (vine, cover crop, *C. dactylon* and bare soil) with overall accuracy > 62%. Furthermore, the spatial coincidence of *C. dactylon* presence from these maps with those obtained from on-ground sampling was also studied. This research allows developing new strategies for site-specific control of *C. dactylon* infestations and decreasing economic and environmental costs.

Key words: control, bermudagrass, weed, *Festuca arundinacea*, image analysis, site specific treatment.