

# Generación de mapas de malas hierbas en viñedos con cubierta vegetal utilizando una cámara SLR

Karla Cantuña<sup>1,2</sup>, Dionisio Andújar<sup>1,3</sup>, Jordi Recasens<sup>4</sup>, Francisco Valencia<sup>4</sup>,  
José María Bengochea-Guevara<sup>1</sup> y Ángela Ribeiro<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Percepción Artificial. Centro de Automática y Robótica (CSIC-UPM), 28500-Madrid

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Informática y Sistemas Computacionales, Universidad Técnica de Cotopaxi, 050101-Latacunga, Ecuador

<sup>3</sup>Grupo de Ecología de Malas Hierbas. Instituto de Ciencias Agrarias (CSIC), 28006-Madrid.

<sup>4</sup>Grupo de Malherbología y Ecología Vegetal, ETSEA-Agrotecnio. Universitat de Lleida, 25198-Lleida  
✉ angela.ribeiro@csic.es

**Resumen:** En los tratamientos selectivos en agricultura de precisión es necesario conocer la ubicación precisa de los rodales de malas hierbas. Este artículo describe la generación de mapas de malas hierbas combinando las imágenes adquiridas en condiciones reales de campo con iluminación no controlada con una cámara réflex de lente única (SLR), integrada en un vehículo eléctrico que se mueve a 3 km/h, y la información de ubicación para cada fotografía suministrada por un receptor RTK-GNSS. Las imágenes se combinan en una ortofoto en la que se discriminan las zonas de mala hierba con una técnica de segmentación basada en índices de color. El mejor método de segmentación se determinó comparando 10 estrategias bien conocidas. El análisis comparativo estableció que las técnicas más adecuadas son las basadas en los índices: COM1 (53,01%), EXGR (52,08%) y CIVE (50,52%), no existiendo diferencias significativas entre ellas.

**Palabras clave:** agricultura de precisión, ortofoto, segmentación de mala hierba, test de Newman-Keuls, índice de Jaccard.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los mapas de cobertura vegetal se construyen utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) que proveen datos de localización (Borgelt, Harrison, Sudduth and Birrell, 1996) junto con información suministrada por cámaras visibles (López-Granados et al., 2016) o cámaras multiespectrales (Peña, Torres-Sánchez, Castro, Kelly and López-Granados, 2013) embarcadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) o en vehículos terrestres de pequeña o mediana envergadura (Bengochea-Guevara, Andújar, Conesa-Muñoz, Cantuña and Ribeiro, 2016). Las imágenes adquiridas desde plataformas terrestres pueden presentar alta resolución espacial, del orden de milímetros por píxel, y es posible obtener información tridimensional (3D) de la zona inspeccionada con una sola cámara aplicando técnicas de fotogrametría siempre que exista solapamiento entre las imágenes (Piermattei, Karel, Vettore and Pfeifer, 2016).

Este artículo describe la generación de mapas de malas hierbas en viñedos con cubierta vegetal a partir de imágenes capturadas con una cámara réflex de lente única (acrónimo en inglés SLR) embarcada en un vehículo y combinada con información de localización proporcionada por un sistema global de navegación por satélite de alta precisión y tiempo real (acrónimo en inglés RTK-GNSS).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los viñedos propiedad de Codorníu S.A. (Raimat, Lleida). Las imágenes se tomaron el 5 de julio de 2016 en 8 calles de la parcela 30, donde se habían sembrado, el otoño anterior, distintas cubiertas vegetales a base de gramíneas y leguminosas anuales. Cada calle

tiene una anchura de 2,40 m. y mostraban, en esa fecha, una infestación por parte de distintas malas hierbas, principalmente grama (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). En esa fecha, la grama y otras hierbas mostraban plenitud vegetativa y una coloración contrastada con la cubierta vegetal ya segada y seca.

La cámara (EOS 7D, Canon) iba anclada a una estructura integrada en un vehículo eléctrico (Twizy, Renault) que también incluye un computador y un receptor RTK-GNSS (R220, Hemisphere) capaz de suministrar 20 localizaciones por segundo con un error inferior a 2 cm (Fig. 1). Como la frecuencia de captura de imágenes es de 2 fotogramas por segundo, durante el muestreo la velocidad del vehículo se mantuvo alrededor de los 3Km/h (aproximadamente 0,83 m/s) para garantizar un solape mínimo de un 60% entre imágenes consecutivas.



Figura 1. Plataforma autónoma terrestre.

Se tomaron un total de 1664 imágenes de color (modelo de color *red, green* y *blue* o RGB) de 2592 x 1728 píxeles, aproximadamente 200 imágenes por calle, georreferenciadas en coordenadas proyectadas UTM, datum WGS84. De este conjunto se seleccionó aleatoriamente una muestra de 313 imágenes. Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó al conjunto total de imágenes dividido en 8 estratos (calles) un muestreo estratificado con afijación proporcional sin reposición con un margen de error del 2,5% y un nivel de confianza del 95% (Pérez-López, 2005).

Para cada una de las imágenes de la muestra se construyó manualmente la verdad terreno siguiendo los pasos que se ilustran en la figura 2, obteniéndose imágenes en blanco y negro que representan la mala hierba en píxeles blancos y el resto (suelo, residuos, etc.) en píxeles negros.

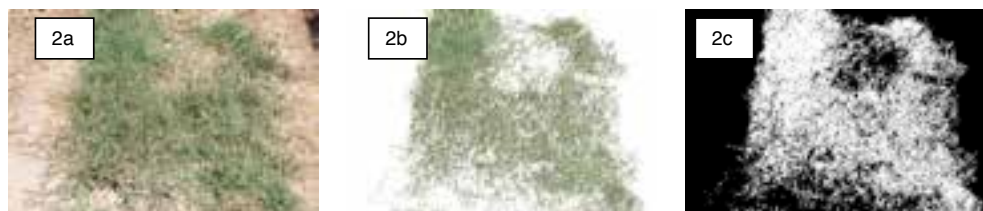
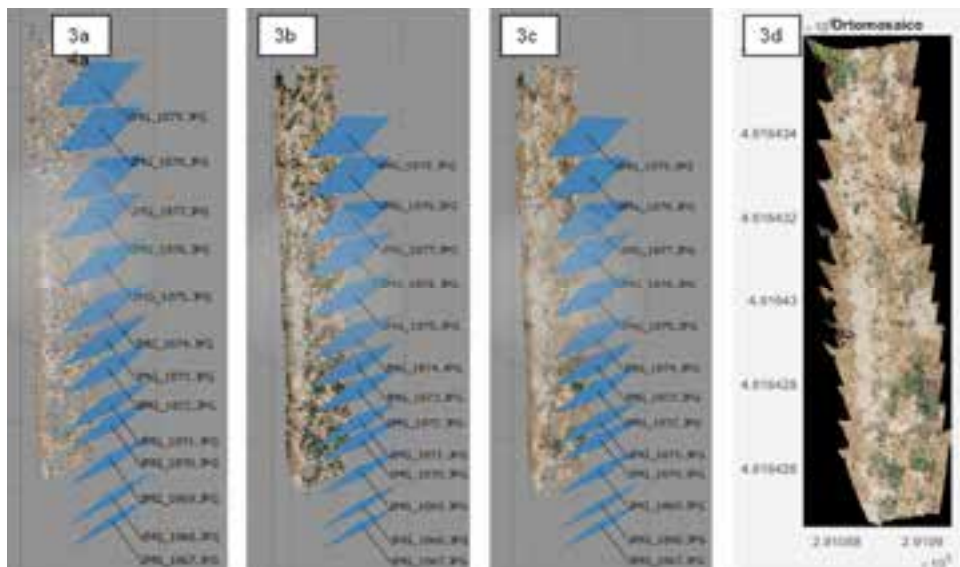


Figura 2. Elaboración de la imagen verdad-terreno utilizando Photoshop CS6: 2a) imagen original; 2b) delimitación manual de la zona de interés; 2c) conversión a blanco y negro.

Por otra parte, para generar el mapa se empleó un software comercial (Agisoft, PhotoScan), construyendo la ortofoto de cada calle de viñado a partir de todas las imágenes tomadas en la calle (Wolf, Dewitt and Wilkinson, 2014). El proceso tiene 4 fases: 1) Alineación de la cámara localizando puntos comunes en imágenes consecutivas (similitudes en color, textura, forma, etc.) para estimar el movimiento de la cámara entre dos imágenes (Fig. 3a). 2) Generación de una nube de puntos a partir de las posiciones estimadas de la cámara (Fig. 3b). 3) Construcción de una malla poligonal 3D con la nube de puntos que representa la superficie de la cubierta de la calle (Fig. 3c). 4) Obtención de la ortofoto (Fig. 3d) con la malla y un proceso de ortorectificación que elimina el desplazamiento debido a la perspectiva de las imágenes. La ortofoto contiene además información geográfica como la resolución/tamaño del píxel en x e y, rotación en x e y, y el origen de coordenadas.



**Figura 3.** Etapas de construcción del ortomosaico: 3a) puntos de coincidencia y posiciones de la cámara; 3b) nube de puntos; 3c) malla poligonal; 3d) ortomosaico.

El siguiente paso (segmentación) es la discriminación en la ortofoto entre los píxeles asociados a zonas de malas hierbas (en este caso de color verde coincidente con su estado vegetativo) y el resto (de color amarillo correspondiente a suelo y restos de la cubierta). La mejor segmentación se seleccionó de un conjunto de 10 estrategias basadas en el índice de color, muy utilizadas y descritas en (Guijarro, Pajares, Riomoros, Herrera, Burgos-Artizzu and Ribeiro, 2011): 1) índice de diferencia normalizada (NDI), 2) índice exceso de verde (ExG), 3) índice exceso de rojo (ExR), 4) índice de color de extracción de la vegetación (CIVE), 5) índice exceso de verde menos exceso de rojo (ExGR), 6) índice invariante a la sombra o vegetativo (VEG), 7) índice de diferencia normalizada verde menos rojo (NGRDI), 8) índice combinado 1 (COM1), 9) índice de exceso de verde modificado (MExG), y 10) índice combinado 2 (COM2). Se comparó el funcionamiento de los distintos métodos de segmentación para 313 imágenes de la muestra y en cada caso, teniendo en cuenta la

imagen verdad-terreno, se calculó el índice binario de similitud de Jaccard (Jaccard, 1908) según la ecuación (1), donde  $Vp$  es el número de píxeles que coinciden en blanco en la imagen segmentada y la imagen verdad-terreno,  $Fp$  es el número de píxeles blancos en la imagen segmentada que son negros en la imagen verdad-terreno y  $Fn$  es el número de píxeles negros en la imagen segmentada que son blancos en la imagen verdad-terreno. El índice de Jaccard toma valores entre cero (no existe similitud entre las imágenes) y uno (máxima similitud, las imágenes son iguales).

$$Jaccard = 100 * \frac{Vp}{Vp + Fn + Fp} \quad (1)$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mejor técnica de segmentación se obtuvo de un análisis de varianza (ANOVA). En primer lugar, se identificaron distintos elementos: i) Variable respuesta: porcentaje de similitud de Jaccard obtenido por las técnicas de segmentación, ii) Factor: técnicas de segmentación, con diez niveles para los índices basados en el color considerados, iii) Técnica: cada una de las técnicas de segmentación, iv) Unidades experimentales: cada una de las imágenes seleccionadas aleatoriamente (muestra), en total 313 imágenes y, finalmente, v) Bloques: ocho calles muestreadas del viñado compuestas por  $n_b$  imágenes, es decir, 42, 35, 40, 37, 45, 38, 41 y 35 unidades experimentales, respectivamente. Un valor alto de la media y una desviación estándar baja determinan un rendimiento elevado de la estrategia de segmentación (Meyer and Neto, 2008). Los datos de la tabla 1 se obtuvieron aplicando el análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico SPSS de IBM.

**Tabla 1.** Análisis de la varianza para las técnicas de segmentación consideradas

Fuente	Suma de cuadrados (tipo I)	gl	Cuadrados Medios	F	p-valor
Modelo corregido	460384,76a	79	5827,66	16,42	0,000
Intersección	5376826,05	1	5376826,05	15148,17	0,000
Técnica	245668,14	9	27296,46	76,90	0,000
Calle	179266,25	7	25609,46	72,15	0,000
Técnica * Calle	35450,37	63	562,70	1,59	0,002
Error	1082594,19	3050	354,95		
Total	6919805,01	3130			
Total corregida	1542978,95	3129			

a. R cuadrado = 0,298 (R cuadrado corregida = 0,280).

Se observa que las calles de viñado influyen en los resultados de segmentación y, por tanto, en los porcentajes de similitud del índice de Jaccard, ya que el valor del cociente de los cuadrados medios de Calle y Error es mayor que la unidad ( $F = 72,15$ ) y  $p$ -valor es menor de 0,05. Del mismo modo, a partir de los valores de la tabla se puede concluir que las distintas técnicas de segmentación analizadas tienen distinto comportamiento, ya que el valor del cociente de los cuadrados medios de Técnica y Error es mayor que la unidad ( $F = 76,90$ ) con  $p$ -valor = 0,000.

Las mejores estrategias de segmentación se obtienen empleando el test de comparación múltiple Newman-Keuls con un nivel del 5%, similar al usado en la tabla ANOVA. Como resultado, las técnicas de segmentación más adecuadas son: COM1 (53,01%), EXGR (52,08%) y CIVE (50,52%) con un  $p\text{-valor} = 0,22$ , que indica que las medias no difieren significativamente entre sí.

Finalmente, las técnicas de segmentación elegidas se aplican sobre la ortofoto. La figura 4 muestra de izquierda a derecha la ortofoto de parte de una de las calles muestreadas y el mapa de distribución de malas hierbas obtenido.

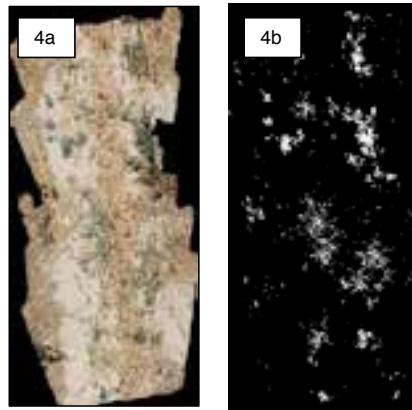


Figura 4. De izquierda a derecha, ortomosaico en Agisoft y resultado de la segmentación con el índice CIVE de la imagen 4a.

#### 4. CONCLUSIONES

Este artículo presenta una tecnología de inspección que permite la generación de mapas de distribución de mala hierba en viñedos con cubierta vegetal. La inspección parte de la adquisición automática de un conjunto de imágenes de la cubierta utilizando una cámara réflex de lente única (SLR) embarcada en un vehículo terrestre eléctrico que se desplaza con una velocidad aproximada de 3 km/h. Del trabajo desarrollado se desprende que, con el equipo utilizado, es posible construir una ortofoto precisa de la cubierta con una resolución de alrededor de 0,9 mm por píxel siempre que las imágenes consecutivas presenten un solapamiento superior al 60%. El mapa de infestaciones, en el que aparecen en blanco los píxeles asociados a zonas de malas hierbas y en negro los asociados al resto de la cubierta, puede obtenerse aplicando una técnica adecuada de segmentación a la ortofoto. De los 10 métodos de segmentación basados en índices de color considerados destacan en análisis de varianza (ANOVA) los métodos basados en los índices COM1 (53,01%), EXGR (52,08%), CIVE (50,52%), presentando el mejor porcentaje promedio de similitud entre la imagen segmentada y la imagen verdad-terreno. Además, no aparecen diferencias significativas de funcionamiento entre los tres métodos por lo que se concluye que un método de segmentación basado en cualquiera de los índices COM1, EXGR y CIVE es apropiado para discriminar las zonas de malas hierbas, en este caso de color verde coincidente con su estado vegetativo.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Investigación en el marco de los proyectos AGL2014-52465-C4-2-R y AGL2014-52465-C4-3-R. Karla Cantuña agradece la comisión de servicios con remuneración otorgada por la Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador). Agradecemos a Codorniu SA las facilidades mostradas para el desarrollo de este trabajo en la finca de Raimat.

## 6. REFERENCIAS

- Bengochea-Guevara JM, Andújar D, Conesa-Muñoz J, Cantuña K and Ribeiro Á (2016). A medium size field inspection vehicle, 1-7.
- Borgelt SC, Harrison JD, Sudduth KA and Birrell SJ (1996). Evaluation of GPS for Applications in Precision Agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(6), 633-638.
- Guijarro, M, Pajares G, Riomoros I, Herrera PJ, Burgos-Artizzu X. P and Ribeiro A (2011). Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 75-83.
- López-Granados F, Torres-Sánchez J, Serrano-Pérez A, de Castro AI, Mesas-Carrascosa F-J and Peña J-M (2016). Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. *Precision Agriculture*, 17(2), 183-199.
- Meyer GE and Neto JC (2008). Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2), 282-293.
- Peña JM, Torres-Sánchez J, 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(10), e77151.
- Pérez-López C (2005). Muestreo estadístico. Conceptos y problemas resueltos. Madrid: Editorial Pearson Prentice Hall.
- Piermattei L, Karel W, Vettore A and Pfeifer N (2016). Panorama image sets for terrestrial photogrammetric surveys, III(July), 12-19.
- Wolf PR and Dewitt BA (2000). Elements of photogrammetry: with applications in GIS (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.

---

### Weed map generation in vineyards with cover crop using a SLR camera

**Summary:** Selective treatments in precision agriculture require of a precise location of the weed patches. This article describes the generation of weed maps by combining the images acquired under actual field conditions with uncontrolled illumination with a Single Lens Reflex (SLR) camera, integrated into an electric vehicle moving at around 3 km/h, and the position information of each photo, provided by a RTK-GNSS receptor. The images are combined in an orthophoto for afterwards discriminating weed by a segmentation technique based on a color index. The best segmentation method was determined by comparing 10 well-known strategies. The comparative analysis established that the most appropriate techniques are those based on index COM1 (53.01%), EXGR (52.08%) or CIVE (50.52%), and there are no significant differences between them.

**Keywords:** precision agriculture, orthophoto, weed segmentation, Newman-Keuls test, Jaccard index.