

# OPTIMIZACIÓN DE ALGORITMOS PARA SEGMENTACIÓN POR VALOR UMBRAL APLICADO A DETECCIÓN DE MALAS HIERBAS EN IMÁGENES PROCEDENTES DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

Caballero-Novella J.J. \*, Peña J.M., Torres-Sánchez J.,  
López-Granados F.

*Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC,  
Apdo. 4084, 14080 Córdoba, España.*

*\* juanjcn@ias.csic.es*

**Resumen:** En este trabajo se ha buscado la implementación de una alternativa al método de Otsu (1979) desarrollada por Hui-Fuang Ng (2006), el cual maximiza la diferencia entre varianzas espectrales y realiza una búsqueda multiumbral. En el estudio se emplearon imágenes procedentes de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) tomadas en cultivos de maíz y girasol. Con una única ejecución del algoritmo en un entorno de análisis orientado a objetos, se discriminan aquellos objetos correspondientes a la fracción vegetal del suelo desnudo y se estima un umbral diferenciador entre cultivo y malas hierbas que contribuya a un subsiguiente proceso de clasificación. La técnica de Hui-Fuang detectó un mayor porcentaje de vegetación en todos los casos estudiados, oscilando el incremento entre un 3% y un 20%.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, drones, sensores remotos, teledetección.

**Summary:** *Optimizing algorithms for thresholding segmentation applied to weed detection on UAV remote images.* This work aimed to implement an alternative to Otsu's method (1979) developed by Hui-Fuang Ng (2006), which maximizes the difference between spectral variances and performs a multithreshold seeking. Unmanned aerial images taken in maize and sunflower crops were used in the research. In a single algorithm execution applied to an Object Based Image Analysis environment, the objects corresponding to both the vegetation fraction and bare soil are discriminated and a threshold to separate crop from weeds was also estimated, making easier a subsequent classification process. Hui-Fuang's technique provides a higher percentage of vegetation detection in all the cases, with an improvement which ranges from 3% to 20%.

**Keywords:** Precision agriculture, drones, sensors, remote sensing.

## INTRODUCCIÓN

El Análisis Orientado a Objetos (OBIA, *Object Based Image Analysis*) permite estudiar las imágenes remotas atendiendo a criterios espaciales y espectrales (Peña et al., 2013). A diferencia de los métodos basados en píxeles, mediante OBIA se segmentan las imágenes agrupando píxeles en objetos, otorgándoles atributos y estadísticas que facilitan la clasificación de las mismas. OBIA puede resultar muy útil para detección de malas hierbas ya que éstas suelen presentar una distribución en agregados y los objetos obtenidos de la agrupación de píxeles infestados de malas hierbas pueden posibilitar su discriminación y posterior cartografía. Antes de realizar cualquier tipo de análisis sobre la fracción vegetal (malas hierbas + cultivo) presente en las imágenes, el primer paso es separar suelo desnudo de vegetación. Empleando el software apropiado y un algoritmo de determinación de umbral entre varianzas espectrales (Otsu, 1979) se puede automatizar este proceso para obtener objetos diferenciados de ambas categorías (suelo + vegetación) y posteriormente seguir los procedimientos de análisis para discriminar entre cultivo y malas hierbas.

Gracias a los Vehículos Aéreos no Tripulados o UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) es posible realizar vuelos a muy baja altura que generan imágenes de muy alta resolución espacial, permitiendo la detección de suelo desnudo, hileras de cultivo y rodales de malas hierbas en emergencia temprana. La clasificación por umbrales Otsu es efectiva para separar suelo de fracción vegetal aunque en ocasiones presenta limitaciones para distinguir posteriormente malas hierbas de cultivo, como por ejemplo ocurre en el cultivo de trigo dada su escasa separación entre hileras (Torres-Sánchez et al., 2014).

Los objetivos de este trabajo son: 1) estudiar una variante del método Otsu desarrollada por Hui-Fuang Ng (2006), que propone un modo alternativo de calcular el umbral de separación de varianzas, 2) determinar la fracción vegetal (malas hierbas + cultivo) que detecta cada método, y 3) estimar el porcentaje de vegetación de cada tipo detectado dentro de la fracción vegetal total.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Áreas de estudio

El estudio se realizó en dos campos, uno de maíz (provincia de Córdoba, coordenadas WGS84: 37,938N, 4,625W) y otro de girasol (provincia de Sevilla, coordenadas WGS84: 37,524N; 5,318W). El campo de maíz se sembró el 14 de abril de 2014 a una dosis de siembra de 6 kg ha<sup>-1</sup> y estaba infestado de *Sorghum halepense* L. Pers. El campo de girasol se

sembró el 25 de marzo de 2014 y presentaba infestaciones de *Amaranthus blitoides* L., *Sinapis arvensis* L y *Convolvulus arvensis* L. Tanto los cultivos como las malas hierbas estaban en estado fenológico temprano con 4-6 hojas verdaderas o inicio de encañado (BBCH extended scale code 14, Meier, 2001). La pendiente media en ambos campos no superaba el 1% de elevación.

Sobre cada campo se tomó un vuelo los días 6 y 7 de mayo de 2014 en maíz y girasol, respectivamente. La altura de toma de las imágenes en los dos casos fue de 30 metros sobre el nivel del suelo. Para el estudio del Girasol, adicionalmente, se emplearon técnicas de remuestreo espacial en la imagen de 30 metros para obtener otra de 60 metros y poder comparar la influencia de la altura en la efectividad de los algoritmos. Como puntos de muestreo fueron establecidos 49 marcos rectangulares de 1 m<sup>2</sup> cada uno, en disposición regular de 7 x 7 m. Dos de los marcos quedaron fuera durante la toma de imagen en el campo de maíz, reduciendo en su caso el total a 47 muestras.

### Características del UAV y preparación de las imágenes

Se empleó un UAV multirrotor modelo MD4-1000 (microdrones GmbH, Siegen, Alemania) en el que se instaló una cámara PEN E-PM1 (Olympus Corporation, Tokyo, Japón) capaz de tomar imágenes de 12 megapíxeles en el rango visible RGB, con 8 bits de resolución radiométrica y equipado con zoom óptico de 14-42 mm.

Para la segmentación de cada imagen en objetos se transformaron las bandas RGB a sus versiones normalizadas, aplicando posteriormente el índice de vegetación *Excess Green* para facilitar una mayor precisión en la clasificación de la fracción vegetal en las alturas de vuelo utilizadas (Torres-Sánchez et al., 2014):

$$R_n = \frac{R}{R + G + B} \quad G_n = \frac{G}{R + G + B} \quad B_n = \frac{B}{R + G + B}$$

$$ExG(2) = 2G_n - R_n - B_n$$

### Otsu-Valley (Hui-Fuang, 2006)

La alternativa a Otsu (1979) propuesta por Hui-Fuang (2006) establece que el umbral óptimo para separar la imagen en clases diferenciadas reside en el valor del histograma espectral situado entre sus dos picos máximos (de ahí su denominación en inglés como *Valley*). La ecuación para calcular dicho umbral otorga un peso a cada valor potencial de

umbralización que es mayor cuanto menor sea su frecuencia  $p_i$  de aparición, considerando como otras variables significativas la probabilidad  $\omega$  y la media  $\mu$  de cada clase que resulte de realizar la clasificación:

$$t^* = \max_{0 \leq t \leq L} \{ (1 - p_t) (\omega_1(t) \mu_1^2(t) + \omega_2(t) \mu_2^2(t)) \}$$

Este método puede generalizarse para calcular simultáneamente más de un umbral de separación. Aplicado de esa manera, el algoritmo trata de determinar durante la ejecución un valor de umbral que separe el suelo desnudo de las malas hierbas y otro para separar las malas hierbas del cultivo. La ecuación para el nuevo método es:

$$t^* = \max_{0 \leq t_1 < \dots < t_{M-1} < L} \left\{ \left( 1 - \sum_{j=1}^{M-1} p_{t_j} \right) \left( \sum_{k=1}^M \omega_k \mu_k^2 \right) \right\}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A cada imagen procedente de cada campo, se aplicaron tanto el algoritmo de Otsu (1979) tradicional como la alternativa Valley, buscando los porcentajes detectados de cultivo, malas hierbas y fracción vegetal total mediante el software eCognition Developer 9.0. Para cada uno de los marcos colocados sobre el terreno sobrevolado, estos porcentajes se contrastaron con aquellos calculados gracias a los datos gráficos y posicionales de verdad-terreno recopilados durante la ejecución de los vuelos, arrojando un porcentaje global de detección por cada categoría (fracción vegetal total, cultivo y malas hierbas).

En todos los casos estudiados, Valley logró detectar una mayor cantidad de vegetación, ofreciendo además un umbral preliminar de subdivisión entre las malas hierbas y el cultivo. La diferencia es especialmente significativa para el caso de malas hierbas, ya que el método Valley mejora entre un 15% y un 20% la detección con respecto al método Otsu (1979). En la discriminación de la fracción vegetal, ambos métodos ofrecen una buena tasa de detección, proporcionando Valley una mejoría del 4-8%. Para los cultivos este porcentaje se reduce al 3-6%, resultando prácticamente igual en la imagen de girasol tomada a 30 metros.

**Tabla 1. Porcentaje de vegetación (cultivo + malas hierbas) detectada en el campo de girasol utilizando el vuelo a 30m (media  $\pm$  DE; n° de marcos para verdad terreno = 49). En negrita se destacan los porcentajes más elevados.**

	% Fracción Vegetal	% Cultivo	% Malas Hierbas	Umbral
Método Otsu	91,62 $\pm$ 11,58	99,04 $\pm$ 3,99	70,13 $\pm$ 31,53	0,04
Método Valley	<b>95,89 <math>\pm</math> 7,00</b>	<b>99,73 <math>\pm</math> 1,45</b>	<b>87,00 <math>\pm</math> 19,36</b>	0,017 + 0,1

**Tabla 2. Porcentaje de vegetación (cultivo + malas hierbas) detectada en el campo de girasol utilizando el vuelo a 60 m (media  $\pm$  DE; n° de marcos para verdad terreno = 49). En negrita se destacan los porcentajes más elevados.**

	% Fracción Vegetal	% Cultivo	% Malas Hierbas	Umbral
Método Otsu	86,37 $\pm$ 16,03	94,89 $\pm$ 10,87	46,62 $\pm$ 36,87	0,04
Método Valley	<b>92,20 <math>\pm</math> 11,73</b>	<b>97,61 <math>\pm</math> 9,01</b>	<b>66,50 <math>\pm</math> 33,36</b>	0,017 + 0,09

**Tabla 3. Porcentaje de vegetación (cultivo + malas hierbas) detectada en el campo de maíz utilizando el vuelo a 30m (media  $\pm$  DE; n° de marcos para verdad terreno = 47). En negrita se destacan los porcentajes más elevados.**

	% Fracción Vegetal	% Cultivo	% Malas Hierbas	Umbral
Método Otsu	90,62 $\pm$ 8,17	93,70 $\pm$ 6,74	83,06 $\pm$ 27,50	0,06
Método Valley	<b>98,74 <math>\pm</math> 2,70</b>	<b>99,28 <math>\pm</math> 1,89</b>	<b>96,94 <math>\pm</math> 9,87</b>	0,01 + 0,1

La variante propuesta por Hui-Fuang (2006) al método de Otsu (1979) incrementa el porcentaje de vegetación que se discrimina del suelo desnudo. Al emplear un criterio de separación doble se logra también un umbral preliminar de diferenciación entre malas hierbas y cultivo, que facilitará la elaboración de una clasificación definitiva mediante la aplicación de subsiguientes algoritmos y técnicas de OBIA más elaboradas que están actualmente en estudio.

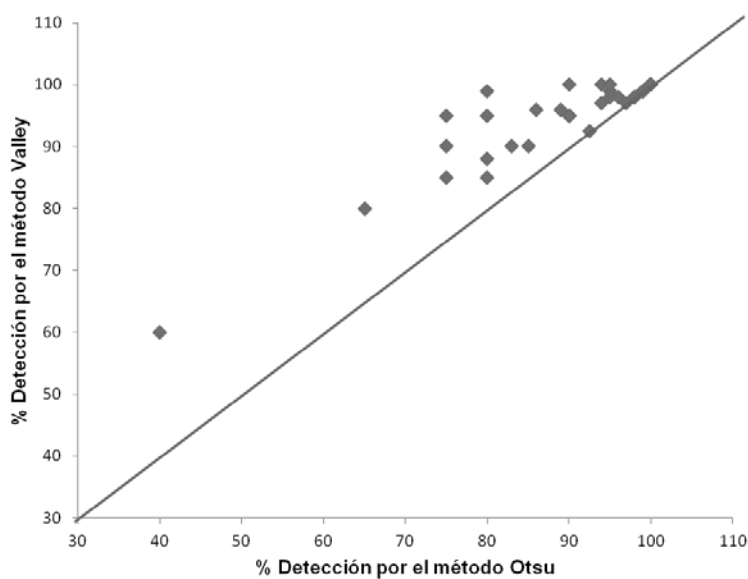


Figura 1. Comparativa del porcentaje de fracción vegetal detectada por ambos métodos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Trabajos financiados por el Proyecto RECUPERA2020 (Acuerdo CSIC y MINECO, fondos EU-FEDER). El trabajo de J. Torres-Sánchez y J.M. Peña han sido financiados por los programas FPI y Ramón y Cajal (ambos MINECO y fondos EU-FEDER). Los autores agradecen al Duque del Infantado y Marqués de Armunia por permitir el desarrollo del trabajo de campo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

HUI-FUANG NG (2006) Automatic thresholding for defect detection. *Pattern Recognition Letters* 27, 1644-1649.

MEIER U (2001) *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*. BBCH Monograph 2<sup>nd</sup> Edition. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Quedlinburg, Germany.

OTSU N (1979) A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic* 9, 62-66.

PEÑA JM, TORRES-SÁNCHEZ J, DE CASTRO AI & LÓPEZ-GRANADOS F (2013) Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV). *PLoS ONE* 8(10), e77151, DOI: 10.1371/journal.pone.0077151.g001.

TORRES-SÁNCHEZ J, PEÑA JM, DE CASTRO AI & LÓPEZ-GRANDOS F (2014) Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture* 103, 104-113.