

Estimación de la cobertura vegetal a partir de imágenes rgb obtenidas desde un dron**Estimation of plant coverage from rgb images obtained from a drone**

Mariana de Jesús Marcial-Pablo^{1*}, Cristo Omar Puente-Valenzuela¹, Ignacio Sánchez-Cohen¹,
Miguel Rivera-González¹, Sergio Iván Jiménez-Jiménez¹

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango.

*Autor para correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

RESUMEN

La agricultura de precisión es una herramienta de mucha importancia debido a que permite evaluar la cobertura vegetal durante el desarrollo de un cultivo. La determinación de la cobertura vegetal con sensores remotos usando las plataformas tradicionales como son los satélites y aviones presentan el inconveniente de la baja resolución espacial y temporal en las imágenes. Una alternativa para obtener imágenes de alta resolución espacial y temporal es la implementación de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) o drones equipados con cámaras digitales. En imágenes de alta resolución espacial, es necesario identificar a los píxeles que contienen vegetación y de los que contienen otro tipo de cubierta. En base a lo anterior el objetivo principal de este trabajo es estimar la cobertura vegetal del cultivo de maíz mediante algoritmos de segmentación de imágenes (Otsu y Otsu- Valley) e índices de color como el índice exceso de verde (ExG) y el de extracción de la vegetación (CIVE) obtenido de las imágenes adquiridas desde un dron en la etapa intermedia de crecimiento del cultivo. Los resultados indican que el valor umbral calculado con el algoritmo de Otsu- Valley permitió estimar la fracción de la cobertura vegetal con una mayor precisión con respecto al algoritmo de Otsu; para el caso del algoritmo de Otsu- Valley la precisión fue mayor al 90% tanto para el ExG como para el CIVE.

Palabras clave: Algoritmo de Otsu, algoritmo de Otsu- Valley, ExG, CIVE

Summary

Precision farming is a very important tool because it allows to evaluate the plant cover during the development of a crop. The determination of plant cover with remote sensors using traditional platforms such as satellites and aircraft present the disadvantage of low spatial and temporal resolution in images. An alternative to obtaining high-resolution space and temporal images is the implementation of unmanned aerial vehicles (UADs) or drones equipped with digital cameras. In high-resolution spatial images, it is necessary to identify pixels that contain vegetation and pixels that contain another type of cover. Based on the above the main objective of this work is to estimate the plant cover of maize cultivation using image segmentation algorithms (Otsu and Otsu- Valley) and color indices such as the excess green index (ExG) and the vegetation extraction index (Civ) E) obtained from images acquired from a drone at the intermediate stage of crop growth. The results indicate that the threshold value calculated using the Otsu- Valley algorithm allowed the fraction of the plant cover to be estimated more accurately with respect to the Otsu algorithm; for the Otsu- Valley algorithm case the accuracy was greater than 90% for both ExG and CIVE.

Key words: Otsu algorithm, Otsu- Valley algorithm, ExG, CIVE



INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal se define como la fracción ocupada por la cubierta verde o la proporción de la superficie de suelo que es interceptada por la proyección vertical de la vegetación. La cobertura vegetal es un parámetro de gran importancia en el seguimiento de los cultivos. En la curva de evolución del coeficiente de cultivo, el máximo valor viene definido cuando el cultivo alcanza la cobertura efectiva completa (Allen et al., 2006). La fracción de la cobertura vegetal es utilizada para estudiar el estado fenológico y fisiológico de la vegetación, monitorear las etapas de desarrollo del cultivo (Yu et al., 2013) y estimar los rendimientos de los cultivos (Yang et al., 2006).

Determinar la cobertura vegetal efectiva completa suele ser compleja y costosa, ya que además de la dificultad de medir la cobertura vegetal es preciso estimarla en algunos casos en cultivos de varios metros de altura, por lo que es frecuente utilizar fases fenológicas para apreciarla. Sin embargo, es necesario tener en cuenta el posible deslizamiento temporal de la fase fenológica en relación con la evolución de la cobertura. La metodología para estimar la cobertura vegetal con sensores remotos en los últimos años ha sido mediante la adquisición de

imágenes con ayuda de los drones; donde el análisis de las imágenes se realizó con índices de color (IC) e índices de vegetación (IV) (Xiao & Moody, 2005).

Con ayuda de los drones es posible obtener imágenes de muy alta resolución espacial, permitiendo la detección de suelo desnudo, cultivo y maleza. En imágenes con alta resolución espacial, es necesario determinar el IV que mejora las diferencias entre los píxeles que contienen vegetación y los píxeles que no contienen vegetación, así como el valor umbral que establece el punto de separación entre ambas clases. Existen distintos algoritmos para la segmentación de las imágenes en base a umbrales: valor medio del histograma, isotada, porcentaje de píxeles negros, dos picos, Otsu y Otsu- Valley. Estos algoritmos se han utilizado para clasificar a los cultivos en las primeras etapas de su crecimiento.

El objetivo del trabajo es estimar la fracción de la cobertura vegetal (CV) del cultivo de maíz en la etapa intermedia de crecimiento mediante el índice exceso de verde (ExG) e índice de extracción de la vegetación (CIVE) con dos algoritmos de segmentación de imágenes: Otsu y Otsu- Valley.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se implementó en el cultivo de maíz dentro del campo experimental Zacatepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Zacatepec, al sur del Estado de Morelos (coordenadas 18°39' 6.45"N y 99° 11' 59.63"O). La siembra se realizó el 05 de julio del 2016 en veinticuatro lotes de 6 m X 25 m.

Procesamiento y adquisición de las imágenes

Las imágenes se obtuvieron desde un dron hexacóptero DJI A2. La cámara empleada fue una Sony α 5100 (ILCE-5100L) con distancia

focal de 16 mm, toma las imágenes con un sensor de 24.3 megapíxeles (6,000 x 4,000 píxeles) en color verdadero RGB.

Se colocaron 12 puntos de control fijos claramente identificados sobre el terreno ante de realizar el vuelo; las coordenadas se obtuvieron con un GPS RTK (Real Time Kinematic) cuya precisión es menor de 1 cm en la vertical y horizontal. Estos puntos servirán para corregir geométricamente el mosaico.

Las imágenes se adquirieron de manera autónoma según la configuración de vuelo a una altura media de 52 m sobre la superficie, una resolución esperada en las imágenes de 1.25 cm



por pixel, un traslape lateral y frontal del 75%, una velocidad media de 6 m/s y un tiempo efectivo de 5 min. El procesamiento de las imágenes se realizó con el software PIX4D, el cual combina las imágenes aéreas

convirtiéndolas en mapa 2D o 3D, mediante la obtención de nube de puntos, modelo digital de elevaciones y ortomosaicos. El vuelo se realizó el 15 de septiembre del 2016, en el cual se obtuvo en promedio 104 imágenes.

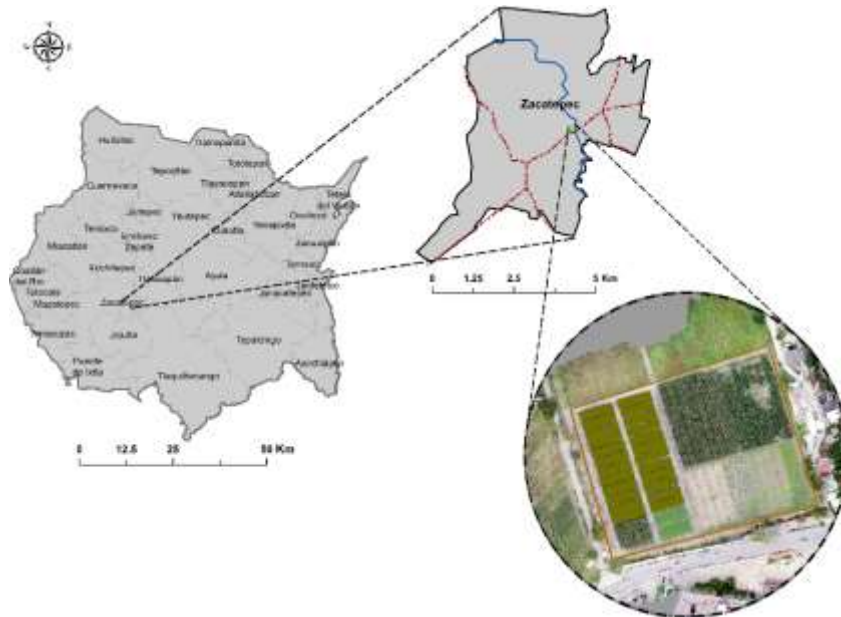


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Estimación de la fracción de la cobertura vegetal

Se evaluaron dos índices de color (IC) basados en el espacio RGB para clasificar los píxeles de

vegetación en 24 lotes de un mosaico en una fecha correspondiente a la etapa intermedia de desarrollo del cultivo y de esta manera cuantificar la fracción de cobertura vegetal:

índice exceso de verde (Woebbecke et al., 1995)

$$\text{ExG} = 2g - r - b \quad (1)$$

índice de extracción de la vegetación (Kataoka et al., 2003)

$$\text{CIVE} = 0.441r - 0.811g + 0.385b + 18.78745 \quad (2)$$

Antes de aplicar las ecuaciones sobre los píxeles et al., 2008); este proceso de normalización se realiza de la siguiente forma:

de la imagen se aplicó una normalización del espacio de color con valores que van 0 a 1 (Gée

$$g = \frac{G}{R + G + B} \quad r = \frac{R}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B} \quad (3)$$

$$R = \frac{R}{R_{\max}} \quad G = \frac{G}{G_{\max}} \quad B = \frac{B}{B_{\max}} \quad (4)$$

Dónde: R, G y B son las bandas RGB normalizadas que varían de 0 a 1 y se obtiene con la ecuación 4. Y $R_{\max}=G_{\max}=B_{\max}=255$ para imágenes en color de 24 bits.

Se obtuvo el histograma de intensidades de cada índice por lote y sobre este se calculó un valor umbral que permitió separar las dos clases propuestas: cultivo y suelo. El valor umbral se

determinó de forma automática mediante los algoritmos de umbralización de Otsu (Otsu, 1979) y Otsu-Valley (Hui-Fuang, 2006). Los algoritmos se programaron en el software Matlab (MathWorks, USA), en el caso de Otsu se usó la metodología empleada en Marcial-Pablo et al. (2019).

El algoritmo de Otsu es uno de los más precisos y ampliamente utilizado en la separación de clases en una imagen (Sahoo et al., 1988) de manera no supervisada, encuentra el umbral usando el histograma de la imagen en escala de grises mediante dos condiciones, que el valor

umbral presente la máxima varianza entre clases y la mínima varianza dentro de la clase ponderado. Hui-Fuang (2006) propuso una mejora al algoritmo de Otsu, al cual se le denomina Otsu-Valley; este establece que el umbral óptimo para separar una imagen en clases diferenciadas reside en el valor del histograma espectral situado entre sus dos picos máximos.

Con la clasificación de los píxeles de vegetación obtenidos con el índice y el valor umbral, se determinó la fracción de cobertura vegetal para cada lote como:

$$CV = \frac{\text{Área de vegetación clasificada en el lote}}{\text{Área total del lote}} \times 100 \quad (5)$$

La precisión se evaluó comparando los valores estimados de la cobertura vegetal (CV) con valores de la fracción de cobertura vegetal real

digitalizados (VCD), mediante la siguiente expresión:

$$\text{Precisión (\%)} = 100 - |\text{CVD} - \text{VC}| \quad (6)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestra la clasificación del cultivo en uno de los lotes analizados; donde se observa que al usar el valor umbral del ExG calculado con el algoritmo de Otsu se clasifica un menor número de píxeles como cultivo, mientras que usado el umbral calculado con el

algoritmo Otsu-Valley el número de píxeles de cultivo aumenta; sucede lo mismo con el CIVE (Figura 3). Esto se debe a que al aplicar el índice sobre el ortomosaico del lote se presenta un histograma de intensidades unimodal y el algoritmo de Otsu-Valley es más eficiente en este tipo de histogramas (Hui-Fuang, 2006).

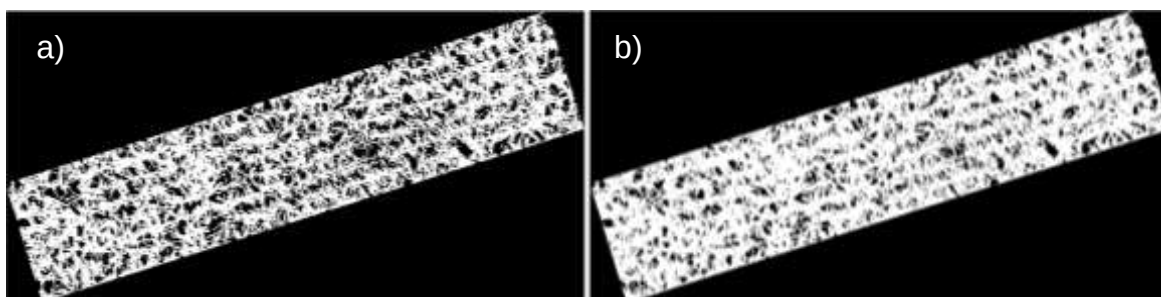


Figura 2. Clasificación del cultivo con Exg a) algoritmo de Otsu, b) algoritmo de Otsu-Valley.

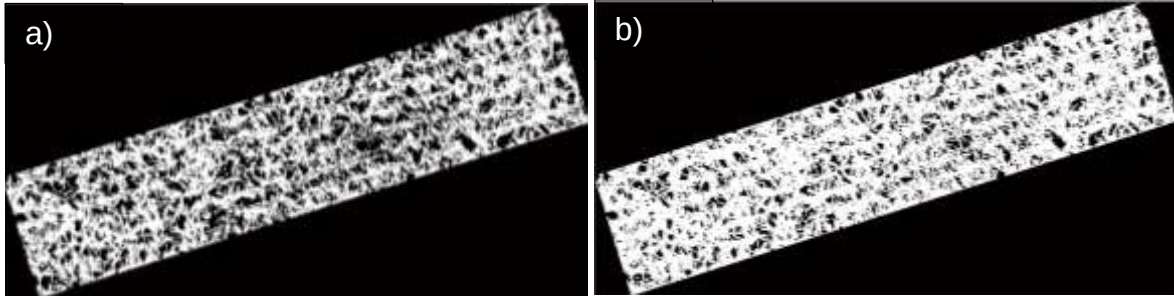


Figura 3. Clasificación del cultivo con CIVE a) algoritmo de Otsu, b) algoritmo de Otsu-Valley.

Comparando los dos algoritmos y los dos índices de color probados, se obtuvo que las precisiones de los índices aumentan al usar el algoritmo Otsu-Valley obteniendo valores promedio de precisión de 97.71 % y 97.04 % para el ExG y el CIVE, respectivamente, por lo cual, este algoritmo permite separar las clases en estas imágenes con mayor eficiencia. Con respecto a los índices, se observa que mediante el índice

ExG se obtienen precisiones más altas con respecto al CIVE, resultados similares se han obtenido en otros trabajos donde se prueban estos y otros índices para discriminar la vegetación (Ponti, 2012; Torres-Sánchez et al., 2014; Marcial-Pablo, 2019), concluyendo que el índice ExG es más eficiente que otros índices de color.

Cuadro 1. Precisión en la clasificación del cultivo a partir de los algoritmos de segmentación de imágenes.

Índice	Algoritmo de segmentación	Cobertura vegetal	Valor umbral	
		Precisión (%)	Máx.	Mín.
Exg	Otsu	85.76 ± 4.12	0.206	0.172
	Otsu-Valley	97.71 ± 1.68	0.171	0.139
CIVE	Otsu	79.95 ± 5.11	18.720	18.708
	Otsu-Valley	97.04 ± 2.42	18.736	18.721

Dentro de la parcela experimental las precisiones que se obtuvieron para estimar la cobertura en cada lote con el algoritmo de Otsu van del 78 al 93.5% y con el algoritmo de Otsu-Valley del 94 al 99.5% para el ExG, y para el CIVE con Otsu van del 70.89 al 89.53% y con Otsu-Valley de 90.09 al 99.3%. Estos datos

muestran que, aunque el algoritmo de Otsu brinde precisiones en promedio más bajas que Otsu-Valley también puede brindar precisiones superiores al 90 % usando el índice ExG, esto es debido a que la precisión también depende de la imagen y su iluminación.

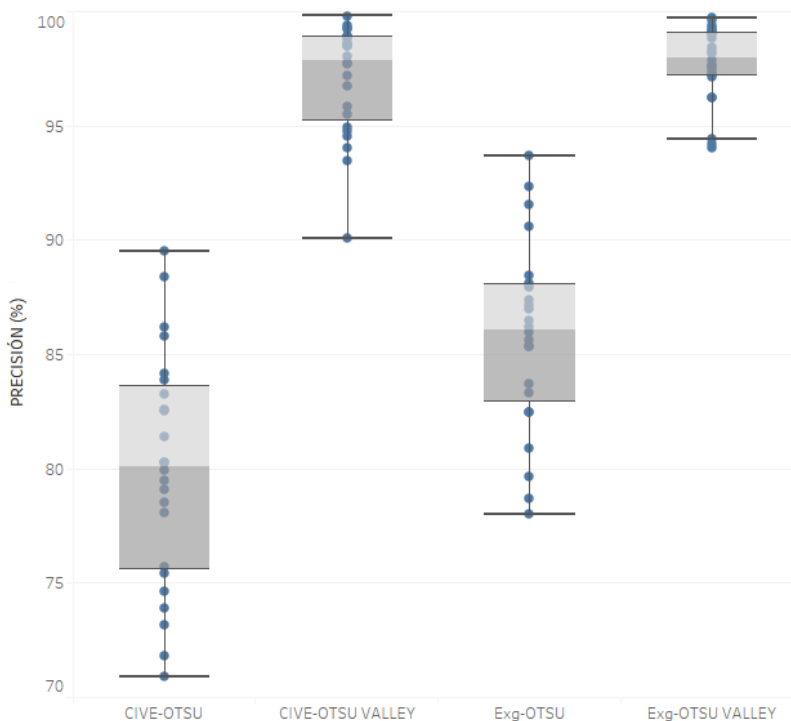


Figura 4. Diagrama de caja para la precisión de los algoritmos

CONCLUSIONES

En la estimación de la cobertura vegetal de manera automática a través de imágenes RGB, el índice de color y la selección del valor umbral son los factores más importantes y los que definen la precisión del cálculo de dicha variable. En este trabajo se demuestra que el algoritmo de Otsu-Valley calcula el valor umbral del índice ExG más adecuado para la estimación de la cobertura vegetal durante la etapa intermedia de crecimiento del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Allen R., Pereira L., Raes D., & Smith M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56.
- Gée, C., Bossu, J., Jones, G., & Truchetet, F. (2008). Crop/weed discrimination in perspective agronomic images. Computers and Electronics in Agriculture, 60(1), 49-59.
- Geipel, J., Link, J., & Claupein, W. (2014). Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. Remote Sensing, 6 (11), 10335-10355.
- Hui-Fuang, N. (2006). Automatic thresholding for defect detection. Pattern recognition letters, 27(14), 1644-1649.
- Kataoka, T., T. Kaneko, H. Okamoto, and S. Hata. 2003. "Crop Growth Estimation System Using Machine Vision." Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), 2 (Aim), 1079-1083.
- Marcial-Pablo, M. D. J., Gonzalez-Sanchez, A., Jimenez-Jimenez, S. I., Ontiveros-Capurata, R. E., & Ojeda-Bustamante, W. (2019). Estimation of vegetation fraction using RGB and multispectral images from UAV. International Journal of Remote Sensing, 40(2), 420-438.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE

- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9(1), 62-66.
- Ponti, M. P. (2012). Segmentation of low-cost remote sensing images combining vegetation indices and mean shift. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(1), 67-70.
- Sahoo, P. K., Soltani, S., Wong, A. K., & Chan, Y.C. (1988). A survey of thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 41(2), 233-260.
- Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., De Castro, A. I., & López-Granados, 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.
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargen, K., & Mortensen, D. A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269.
- Xiao, J., Moody, A. (2005). A comparison of methods for estimating fractional Green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA. *Remote Sensing of Environment*, 98, 237–250.
- Yang, C., Everitt, J. H., & Bradford, J. M. (2006). Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield patterns. *Precision Agriculture*, 7 (1), 33-44. doi:10.1007/s11119-005-6788-0.
- Yu, Z., Cao, Z., Wu, X., Bai, X., Qin, Y., Zhuo, W., Xiao, Y., Zhang, X., & Xue, H. (2013). Automatic image-based detection technology for two critical growth stages of maize: Emergence and three-leaf stage. *Agricultural and Forest Meteorology*, 174, 65-84.