



Quinto  
Congreso Nacional  
de Riego y Drenaje  
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



**Artículo: COMEII-19001**

*Mazatlán, Sin., del 18 al 20*

*de septiembre de 2019*

## **ESTIMACIÓN DE LA ALTURA DEL CULTIVO DE MAÍZ USANDO IMÁGENES RGB OBTENIDAS CON UN DRON**

**Mariana de Jesús Marcial Pablo<sup>1\*</sup>; Waldo Ojeda Bustamante <sup>1</sup>; Sergio Iván Jiménez Jiménez<sup>1</sup>; Ronald Ernesto Ontiveros Capurata<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación A.C. Texcoco, C.P. 56190, Estado de México.

<sup>2</sup>Catedra CONACyT –IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Riego y Drenaje- Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

marianamp547@gmail.com - (777) 266-44-23 (\*Autor de correspondencia)

### **Resumen**

El monitoreo del desarrollo de los cultivos es de vital importancia para estudiar la respuesta del rendimiento al manejo y condiciones ambientales, edáficas, hídricas, nutricionales y de sanidad. Aunque el monitoreo manual de cultivos ha sido usado intensamente en el pasado, la necesidad de un monitoreo rápido y masivo es un reto tecnológico actual. Una alternativa de monitoreo remoto es el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) o drones, equipados con cámaras digitales de alta resolución. El uso de drones es una herramienta tecnológica que facilita el monitoreo remoto de variables para el seguimiento agronómico de cultivos. En este trabajo se presenta el uso técnicas de procesamiento fotogramétrico de imágenes obtenidas desde un dron para generar modelos digitales de elevación del dosel (MDED), los cuales permitieron estimar la variación espacio-temporal de la altura de planta en el cultivo maíz. El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) obtenido entre los valores medidos y los estimados fue de 0.998, la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) fueron 3.20 cm y 2.37 cm, respectivamente. Los resultados indican que, con el uso de cámaras digitales de alta precisión, montadas en drones, es posible estimar la variación espacio-temporal altura de maíz con muy buena precisión. Dicha variable es muy importante para aplicar técnicas de agricultura de precisión.

**Palabras claves:** Altura, monitoreo, UAV, cultivo, MDE, agricultura de precisión.



## Introducción

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. La superficie promedio anual sembrada es de 8.4 millones de hectáreas, de las cuales el 78 % es de temporal y 22 % de riego (SIAP, 2017).

El monitoreo del desarrollo y crecimiento de los cultivos consiste en la estimación de diferentes variables y parámetros de interés agronómico asociados a la productividad de los cultivos. Estas variables son de gran interés en las aplicaciones de agricultura de precisión, que requiere del conocimiento de la variación espacio-temporal de variables sobre el comportamiento agronómico del cultivo para optimizar la cantidad y oportunidad de insumos y agroquímicos. Lo anterior, demanda la colecta manual o remota de datos usando sensores o instrumentos de campo.

La altura de los cultivos es una de las variables más usadas para caracterizar el desarrollo de los cultivos y es un buen indicador de los rendimientos del cultivo como fue reportado por Yin et al. (2011). Existe básicamente una relación muy estrecha entre la altura de la planta y la biomasa (Ehlert et al., 2009, Zhang y Grift, 2012); estas relaciones son de gran importancia no solo para estimar la producción sino también para ajustar el manejo de los cultivos.

Se han probado diversas tecnologías para estimar la altura del cultivo, como el uso de sensores montados en un tractor, como son telémetro de radar, sistema de cámara estéreo o escáner láser (Busemeyer et al., 2013). Ehlert et al. (2009) demostraron que el uso del escáner láser permite determinar la altura de los cultivos con precisión; sin embargo, aunque las mediciones son precisas, la cobertura de muestreo es lineal y en consecuencia limitada.

Actualmente con la mejora en las tecnologías de posicionamiento, la miniaturización de los drones y cámaras, y en los sensores remotos, se pueden obtener imágenes geoposicionadas de alta resolución, que complementada con los avances en las técnicas de procesamiento fotogramétrico se pueden obtener modelos digitales de elevación que son utilizados para estimar con precisión la altura del cultivo. Varios estudios han aplicado los modelos digitales obtenidos de las imágenes de los drones para calcular las alturas y/o el crecimiento espacio-temporal de los cultivos (Holman et al. 2016, Shi et al. 2016).

Torres-Sánchez *et al.*, (2015) presentaron un procedimiento para monitorear plantaciones agrícolas de manera tridimensional mediante las imágenes adquiridas con la tecnología del dron y algoritmos de clasificación basado en objetos. Las mediciones se realizaron en plantaciones de olivo, en donde se evaluaron las resoluciones espectrales y espaciales con dos altitudes de vuelo (50 y 100 m.) usando dos sensores, una cámara visible y una cámara multiespectral de seis bandas. En dicha investigación se mostró la capacidad que tiene la tecnología del dron para producir de manera eficiente datos geométricos tridimensionales de cientos de árboles agrícolas a nivel de campo, complementada con un algoritmo de análisis de imágenes basado en objetos, el cual permite calcular el área del dosel, la altura y el volumen de la copa de los árboles de



manera oportuna y precisa, lo que ofrece una alternativa muy valiosa al monitoreo manual en campo que es tedioso, costoso y limitado.

En este trabajo se estima la variación espacio-temporal de la altura de cultivo de maíz en una parcela agrícola bajo condiciones temporales usando información adquirida desde un dron.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en una parcela de maíz del campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio de Zacatepec, Estado de Morelos, cuyas coordenadas son 18°39' 6.45" N y 99° 11' 59.63" O.

El campo experimental presenta un clima cálido sub-húmedo con una temperatura media anual de 24.3 °C, tiene una estación seca de noviembre a mayo, el temporal de lluvias inicia a mediados del mes de mayo y finaliza los últimos días de octubre. La precipitación media es de 892 mm., con un máximo de lluvia en los meses de junio, julio y septiembre.

### **Procesamiento y adquisición de las imágenes**

El dron empleado para obtener las imágenes digitales fue un hexacóptero DJI A2. Este vehículo realiza un despegue y aterrizaje vertical, posee una autonomía de vuelo de 15 minutos, una capacidad de carga de 2.5 kg. La cámara empleada fue una Sony  $\alpha$  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 geoméricamente 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 píxel, un traslape lateral y frontal del 75%, una velocidad media de 6 m/s y un tiempo efectivo de 5 min.

Se utilizó la técnica fotogramétrica, para el procesamiento de las imágenes, mediante la cual se generaron modelos digitales de elevación (MDE) y ortomosaicos para cada una de las fechas analizadas durante el desarrollo fenológico del cultivo. La restitución fotogramétrica se realizó con el software PIX4D. Para determinar la precisión de los modelos digitales de elevación se calculó la raíz del cuadrado medio del error entre puntos de verificación y puntos homólogos en los MDE.



**Figura 1.** Campo experimental de maíz.

### **Determinación de la altura de las plantas del cultivo**

Los modelos digitales de elevación (MDE), son estructuras numéricas que describen las características morfológicas de un terreno, también catalogado como una representación de la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Con las imágenes RGB capturadas desde el dron se obtuvieron el modelo digital del terreno (MDT) y los modelos digitales de elevación del dosel ( $MDE_D$ ) en las fechas analizadas, mediante las cuales se obtuvieron las alturas de cultivo a partir de la diferencia de elevación entre los  $MDE_D$  y el MDT.

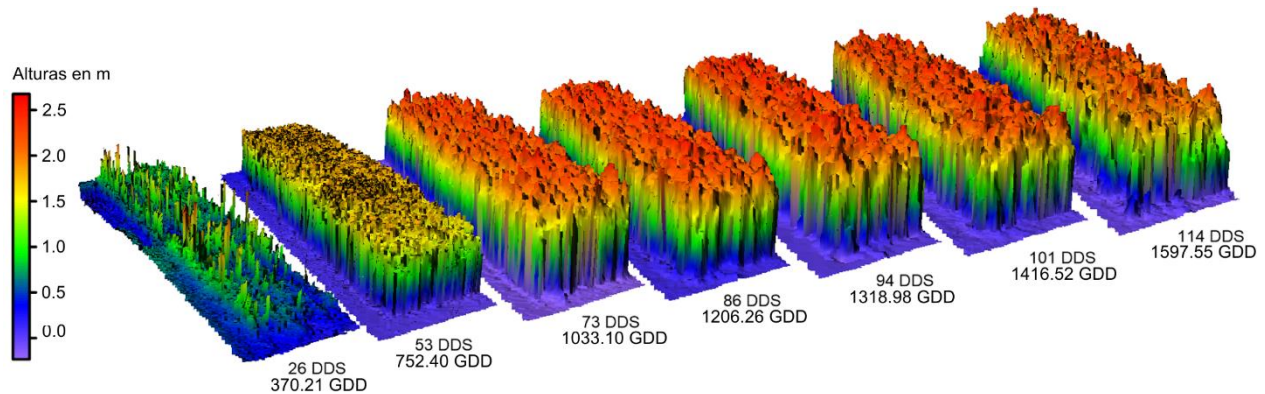
En este trabajo se generaron los modelos de superficie del cultivo y del terreno tomando como referencia los trabajos de Bendig et al. (2012 y 2013) que estimaron la altura absoluta de las copas de árboles.

Para verificar los datos obtenidos a partir de los modelos digitales de elevación se realizaron 56 mediciones manuales de altura de las plantas con cinta métrica flexible, en siete fechas separadas, durante el desarrollo fenológico del cultivo. Dichas mediciones manuales se compararon con las obtenidas con la diferencia de los modelos digitales.

### **Resultados**

En la etapa de madurez del cultivo las alturas se encontraban entre los valores 2.10 a 1.92 m, con una media 2.05 m. Los modelos digitales de elevación del dosel de alta resolución permitieron generar productos de interés como son modelos 3D y los perfiles del dosel (Figura 2); a partir de estos productos se puede observar la variabilidad en las alturas del cultivo.





**Figura 2.** Variabilidad en las alturas del cultivo.

El coeficiente de determinación entre los valores medidos y estimados fue de 0.998. La raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) indica que las alturas estimadas con los modelos digitales de elevación presentan una diferencia de aproximadamente 3.20 cm y 2.37 cm, respectivamente.

El valor del RMSE (3.2 cm) comparado con el obtenido por Holman *et al.* (2016) que arrojó un valor de 3.0 cm en un campo de trigo, resulta ser menor debido a que la altura de vuelo que manejaron en el VANT fue de 40 m y en nuestro caso la altura de vuelo fue de 52 m. El análisis anterior indica que a altitudes más bajas de vuelo con el VANT se obtendrán alturas de cultivo más precisas, ya que se alcanza una mayor resolución de la superficie de la imagen; pero tendrá el inconveniente de cubrir menor superficie, además el número de imágenes por vuelo aumentará haciendo ineficiente el procesamiento.

## Conclusiones

La diferencia entre los modelos digitales de elevación, sin cubierta y con cubierta vegetal, permitió estimar la altura de las plantas del cultivo, que es comparable en precisión con las medidas realizadas directamente en campo. La estimación del error en la estimación de las alturas del cultivo, con respecto a alturas medidas en campo, generaron un  $R^2 = 0.99$ ,  $RMSE = 3.20$  cm y  $MAE = 2.37$  cm, estos valores estadísticos indican que el uso de cámaras digitales de alta precisión, montados en drones, permite estimar la variación espacio-temporal altura de maíz con muy buena precisión.

Los errores de altura estimada del cultivo pudieron deberse a dos factores: a la precisión de los modelos digitales empleados, a la precisión de las mediciones realizadas en campo y a la dificultad para definir la superficie inicial del terreno antes del desarrollo del cultivo.

La resolución espacial muy alta de los modelos digitales de elevación derivados de las imágenes del dron permitió evaluar la variabilidad espacial de la altura a nivel de planta.



## Referencias Bibliográficas

- Bendig, J., Bolten, A., & Bareth, G. (2013). UAV-based imaging for multi-temporal, very high resolution crop surface models to monitor crop growth variability. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 2013(6), 551-562.
- Bendig, J., Willkomm, M., Tilly, N., Gnyp, M. L., Bennertz, S., Qiang, C., Miao, Y., Lenz-Wiedemann, V. I. S., & Bareth, G. (2013). Very high resolution crop surface models (CSMs) from UAV-based stereo images for rice growth monitoring in Northeast China. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (1), 45-50.
- Bussemeyer, L., Mentrup, D., Möller, K., Wunder, E., Alheit, K., Hahn, V., & Rahe, F. (2013). BreedVision—A multi-sensor platform for non-destructive field-based phenotyping in plant breeding. *Sensors*, 13(3), 2830-2847.
- Ehlert, D., Adamek, R., & Horn, H. J. (2009). Laser rangefinder-based measuring of crop biomass under field conditions. *Precision Agriculture*, 10(5), 395-408.
- Holman, F. H., Riche, A. B., Michalski, A., Castle, M., Wooster, M. J., & Hawkesford, M. J. (2016). High throughput field phenotyping of wheat plant height and growth rate in field plot trials using UAV based remote sensing. *Remote Sensing*, 8(12), 1031.
- Shi, Y., Thomasson, J. A., Murray, S. C., Pugh, N. A., Rooney, W. L., Shafian, S.,... & Rana, A. (2016). Unmanned aerial vehicles for high-throughput phenotyping and agronomic research. *PloS one*, 11(7), e0159781.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., Serrano, N., Arquero, O., & Peña, J.M (2015) High- throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 10(6): e0130479. doi:10.1371/journal.pone.0130479.
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft—archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. *Archaeological Prospection*, 18(1), 67-73.
- Yin, X., McClure, M. A., Jaja, N., Tyler, D. D., & Hayes, R. M. (2011). In-season prediction of corn yield using plant height under major production systems. *Agronomy Journal*, 103(3), 923-929.
- Zhang, L., & Grift, T. E. (2012). A LIDAR-based crop height measurement system for *Miscanthus giganteus*. *Computers and electronics in agriculture*, 85, 70-76.