



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 100 (2):
21-27; 2023



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Estimación de la altura y el volumen de copa de limonero (*Citrus limon*) mediante el uso de dron y un método manual

Nelson D. Aranda*, Carlos Moyano**, Dardo H. Figueroa*, Nicolás Mitrovich*, Mercedes I. Valdez*, Hernán Salas*, Luciano Saravia***, Mario Avellaneda*** y Santiago Palacio***.

* Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Av. William Cross 3150, Las Talitas (4101) Tucumán, Argentina. Tel.: +54 381 452100. Int. 135. ndaranda@eeao.org.ar ** Empresa AgroIndex. ***Pasantes estudiantes de agronomía FAZ - UNT.

RESUMEN

Para los cultivos de árboles frutales, los parámetros de la estructura de la planta -tales como altura, diámetro y volumen de copa- están estrechamente relacionados con la sanidad, la producción, el rendimiento y la calidad de la fruta. Si bien las estimaciones basadas en métodos manuales son una práctica aceptada, estos requieren de mucha mano de obra, son ineficientes en términos de tiempo, subjetivos para el operario y difíciles de extrapolar a la finca completa. De forma alternativa, se han desarrollado trabajos a partir de imágenes de Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs) o drones. En Tucumán todavía no hay trabajos sobre el tema; por este motivo, en 2021 se realizó un estudio para comparar medición de altura y volumen de copa de limonero entre un método manual y el método de fotogrametría utilizando un dron. El trabajo se realizó en las localidades de El Tuyango y Monte Grande, en tres parcelas conformadas por diferentes combinaciones de pie y copa, que forman parte de ensayos de portainjertos de la EEAOC, lo que permitió contar con poblaciones de distintos tamaños de árboles. Se realizó un análisis de correlación mediante regresión lineal simple con el programa Infostat, donde quedó demostrado que existe una fuerte correlación directa y positiva entre ambos métodos. Se pudo concluir que los drones son una efectiva alternativa al método manual de medición de árboles cítricos.

Palabras clave: dron, limonero, volumen, altura.

ABSTRACT

Height and volume estimation of lemon trees (*Citrus limon*) using UAV and a manual method

For fruit tree crops, plant structure parameters such as height, diameter, and crown volume are closely related to fruit health, production, yield, and quality. Although their estimates based on manual methods are an accepted practice, they require a lot of labor, are inefficient in terms of time, subjective for the operator, and difficult to extrapolate to the entire farm. Alternatively, works have been developed from images of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) or drones. In Tucumán there are still no works on the subject, for this reason in 2021 a study was carried out to compare the measurement of height and volume of the lemon tree crown between a manual method with the method of photogrammetry using a drone. The work was carried out in the towns of El Tuyango and Monte Grande, in three plots made up of different combinations of stem and crown, which are part of EEAOC rootstock trials, which made it possible to have populations of different sizes of trees. A correlation analysis was carried out using simple linear regression with the Infostat program, where it was demonstrated that there is a strong direct and positive correlation between both methods. It was possible to conclude that drones are an effective alternative to the manual method of measuring citrus trees.

Key words: drone, lemon tree, volume, height.

Fecha de
recepción:
11/04/2023

Fecha de
aceptación:
07/11/2023

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión demanda herramientas de avanzada tecnología, entre las cuales los vehículos aéreos no tripulados (VANTs) o drones son cada vez más requeridos por los agricultores. Esto se debe a la gran capacidad con la que cuentan para captar información de los cultivos de manera precisa y sin estar en contacto con ellos, permitiendo de este modo ayudar en la toma de decisiones. Las imágenes capturadas posibilitan realizar modelos de irrigación y drenaje, modelos tridimensionales del terreno, mapas agronómicos que muestran los problemas y avances de cultivos y las deficiencias nutricionales. Permiten además la planificación de la fertilización, las detección de plagas y enfermedades y las cosechas selectivas; y se usan también para revelar cambios en los cultivos que no son visibles para el ojo humano (Guevara-Bonilla, 2020; Martínez Guanter *et al.*, 2019).

Para los cultivos de árboles frutales, los parámetros de la estructura del árbol tales como área foliar, altura, diámetro y volumen de copa están estrechamente relacionados con la sanidad, la producción, el rendimiento y la calidad de la fruta. Si bien las estimaciones a campo basadas en métodos manuales son una práctica aceptada, estos requieren de mucha mano de obra, son ineficientes en términos de tiempo, subjetivos para el operario y difíciles de extrapolar a la finca completa (Wu., 2019; Colaço *et al.*, 2017).

La altura es uno de los parámetros críticos de los cultivos de árboles frutales, ya que puede afectar la intercepción óptima de la luz, el rendimiento, la sanidad, la calidad de la fruta y el costo de cosecha (Wu *et al.*, 2020).

En Australia, por ejemplo, se recomienda que la altura de los árboles de mango no excedan el 50% del espaciamiento entre filas para permitir la penetración de la luz y la circulación del aire (Wu *et al.*, 2020), similar a las prácticas descritas por Tucker *et al.* (1994), quienes también recomiendan que los espacios intermedios (trochas) entre las hileras de árboles cítricos deben ser lo suficientemente anchos para acomodar el equipo de pulverización y brindar un acceso de luz adecuado a los costados de los árboles. Los espacios intermedios generalmente son de un ancho de entre 2,1 y 2,4 m, mientras que la altura de poda debe estar comprendida entre 4 y 4,5 m. En este mismo sentido, Wheaton *et al.* (1978) dispusieron como regla general que para una buena iluminación, las alturas de los árboles de citrus no deberían exceder el doble del centro de trochas. Así, por ejemplo, para un centro de trocha de 2 m, la altura debería ser de 4 m.

Establecer el volumen de copa de las plantas es útil para la toma de decisiones en la planificación del monte frutal y poder realizar las labores de campo de manera precisa y eficiente, como -por ejemplo- las aplicaciones fitosanitarias y de fertilizantes, la poda selectiva y las predicciones de rendimiento, entre otras (Wheaton *et al.*, 1995; Colaço *et al.*, 2017; Martínez Guanter *et al.*, 2019).

De forma alternativa a la caracterización manual y visual a campo, se han desarrollado numerosos trabajos de plataformas terrestres con diferentes sensores para una mejor cuantificación. Entre estos, los más utilizados han sido los de ultrasonido y los escáneres LiDAR. Además, también se ha explorado el uso de cámaras de profundidad o RGB-D para la generación de modelos de árboles y su caracterización (Tumbo *et al.*, 2002; Chen *et al.*,

2012; Martínez Guanter *et al.*, 2019).

En 2019 en San Pablo, Brasil, Kobayashi *et al.* (2019) clasificaron árboles cítricos a partir de imágenes de drones. Ese mismo año, en Australia se trabajó en la comparación de la capacidad, la precisión y las limitaciones de diferentes tecnologías de teledetección para estimar la estructura de la copa de mango, palta y macadamia. Entre esos métodos comparados se encontraban el Escaneo Láser Terrestre (TLS), el Escaneo Láser Aéreo (ALS) y el procesamiento de imágenes RGB, estos dos últimos proporcionados por drones (Wu *et al.*, 2019).

En el cultivo intensivo de avellano se describió el modelamiento 3D en base a imagen RGB tomadas con dron de bajo costo y el posterior procesamiento de estas en el software Pix4D. Se concluyó que el uso de los mismos puede estimar el volumen del cultivo y por tanto ser una opción económica y rápida para determinar este parámetro (Contreras Arias, 2022).

La hipótesis de este trabajo es que los drones pueden ser una efectiva alternativa a los métodos tradicionales de medición de la altura y volumen de copa de los árboles cítricos en la provincia de Tucumán.

El objetivo general fue evaluar el uso de drones en la medición de altura de planta y volumen de copa de limonero.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

Estimar la altura de plantas para limonero Eureka Frost. Nuc., Lisboa Frost. nuc. y Génova EEAT utilizando un dron y validar con el método de medición manual.

Estimar el volumen de copa para limonero Eureka Frost. Nuc., Lisboa Frost. nuc. y Genova EEAT utilizando fotogrametría con un dron y validar con el método de medición manual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción y lugar de estudio

El trabajo se realizó en 2021 en las localidades El Tuyango, departamento Lules (LS: 26° 59' 14" y LO: 65° 25' 14") y Monte Grande, departamento Famallá (LS: 26° 55' 21" y LO: 65° 21' 27"), de la provincia de Tucumán.

Ambos lugares están dentro de la región del Piedemonte Húmedo - Perhúmedo, donde la temperatura media anual de la región es de 19°C. Es una región considerada libre de heladas, con precipitaciones anuales superiores a los 1000 mm. Los suelos están constituidos por un epipedón mólico, con predominio de texturas medias y gruesas y valores de pH de entre 5,5 y 6,5. (Zuccardi y Fadda, 1985).

Características de las parcelas

Se realizó el estudio en tres parcelas conformadas por diferentes combinaciones de pie y copa. Estas forman parte de ensayos de portainjertos de la EEAOC, lo que posibilitó contar con poblaciones de distintos tamaños de árboles.

En todas las parcelas el marco de plantación fue de 8 m x 6 m, con doce plantas por combinación (Figura 1).



Figura 1.

En la primera parcela (a), plantada en 2007 con copa Eureka Frost nuc. sobre seis portainjertos, se midieron un total de 72 plantas; en la segunda parcela (b), plantada en el mismo año que la anterior con copa Lisboa Frost nuc. sobre siete portainjertos, se midieron 84 plantas; por último, en la tercera parcela (c) plantada en el año 2013, con copa Génova EEAT sobre seis portainjertos, se midieron 72 plantas.

Altura y volumen de copa con dron

Para medir la altura y el volumen de copa se utilizó un Matrice 100 de la marca DJI equipado con un sensor remoto (cámara multiespectral R-G-NIR); la altura de vuelo fue de 100 m con un solape entre fotos de un 65% de lado y un 75% de frente (sidelap y frontlap, respectivamente); la velocidad fue de 11 m/s. A partir de los vuelos y mediante la aplicación de técnicas de fotogrametría y sistemas de información geográfica (SIG), se generaron modelos digitales de superficie del dosel (DSM) y del terreno (DTM), lo que permitió estimar el volumen de copa de la superficie analizada a partir de las diferencias entre el DTM y el DSM (Figura 2).

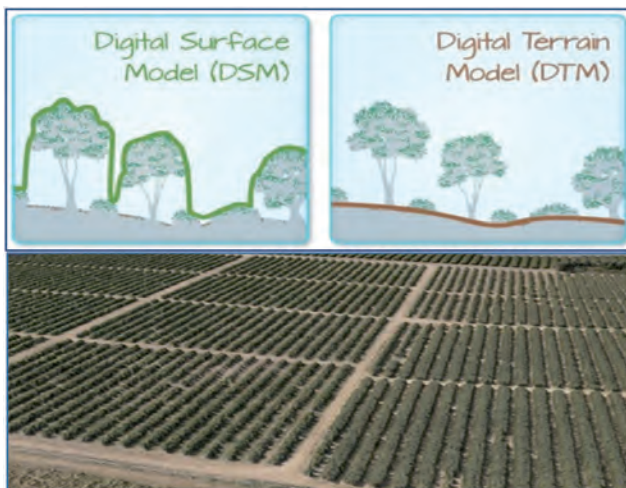


Figura 2. Arriba: DSM (línea verde) y DTM (línea marrón); Abajo: ejemplo de modelo 3D en cítricos.

Altura y volumen de copa por el método manual

Para determinar la altura y el volumen de copa por el método Clásico se midió con regla de agrimensor, graduada en centímetros, la altura tomada desde el suelo hasta la parte superior de la planta; y el diámetro de la copa medido en la dirección perpendicular a la línea de plantación (Figura 3). Luego se aplicó la fórmula propuesta por Mendel en 1956 (citada por Colauto Stenzel *et al.*, 2005): $V = (2/3 \pi R^2 H)$, donde $V =$ Volumen de la copa (m^3), $R =$ radio de las plantas (m) y $H =$ altura de las plantas (m).



Figura 3. Medición de copa: arriba, altura H; abajo, diámetro (2R).

ANÁLISIS DE DATOS

Con los datos de altura y volumen de copa obtenidos de cada parcela se realizó un análisis de correlación entre los métodos mediante regresión lineal simple con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de plantas

Los resultados de las regresiones lineales simples para la medición de altura de plantas se pueden observar en la Tabla 1. Al igual que en el estudio de Wu *et al.* (2020) para palta y mango, en todos los casos el coeficiente de determinación R² tiene valores de entre 0,72 y 0,78, lo que indica una relación directa y positiva entre los dos métodos, con un nivel de significancia global del modelo p < 0,0001, al igual que los coeficientes de las ecuaciones de la recta de regresión. Las Figuras 4, 5 y 6 representan gráficamente los resultados de cada una de las regresiones.

Altura de plantas - Regresión lineal para Lisboa

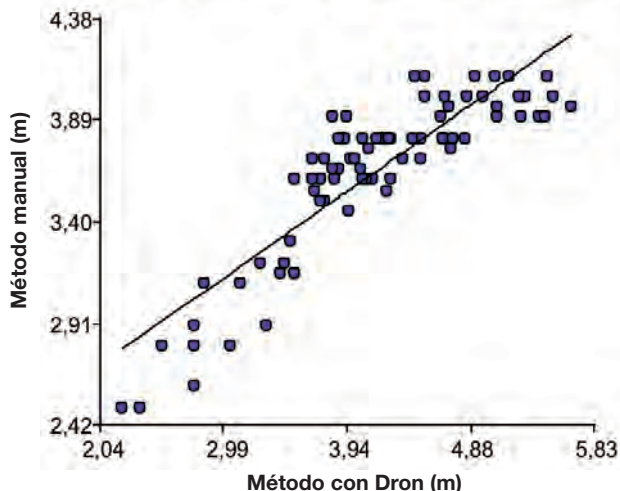


Figura 5. Regresión lineal de método clásico vs método con dron para altura de plantas en limonero Lisboa Frost. nuc.

Altura de plantas - Regresión lineal para Eureka

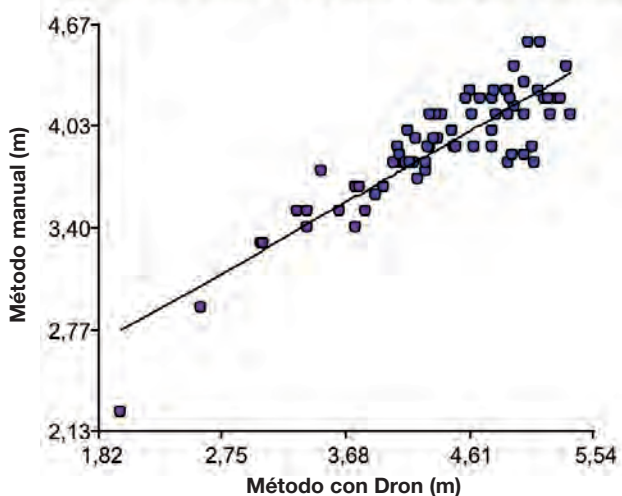


Figura 4. Regresión lineal de método clásico vs método con dron para altura de plantas en limonero Eureka Frost. nuc.

Altura de Plantas - Regresión lineal para Génova

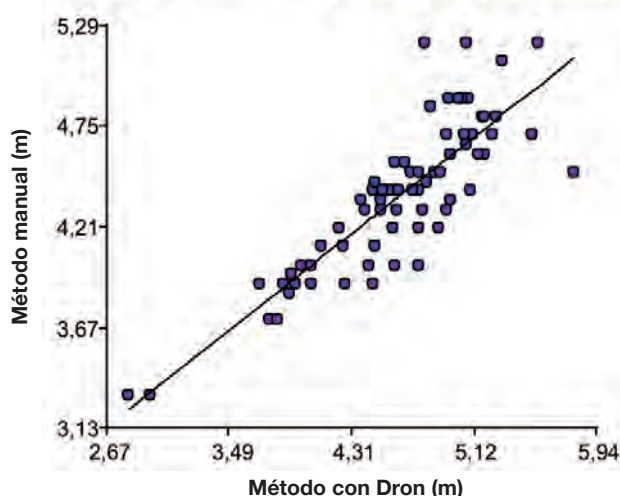


Figura 6. Regresión lineal de método clásico vs método con dron para altura de plantas en limonero Génova EEAT.

Tabla 1. Regresiones lineales para la altura de plantas en cada parcela de estudio.

Parcelas	Coeficiente de Determinación R ²	Nivel de significancia del modelo (p-valor)	Coeficientes		Ecuación recta de regresión
			Intercepción	Método con Dron	
Eureka Frost. nuc.	0,78	< 0,0001	1,81 (p-valor < 0,0001)	0,48 (p-valor < 0,0001)	y = 0,48x + 1,81
Lisboa Frost. nuc.	0,77	< 0,0001	1,82 (p-valor < 0,0001)	0,44 (p-valor < 0,0001)	y = 0,44x + 1,82
Génova EEAT	0,72	< 0,0001	1,42 (p-valor < 0,0001)	0,64 (p-valor < 0,0001)	y = 0,64x + 1,42

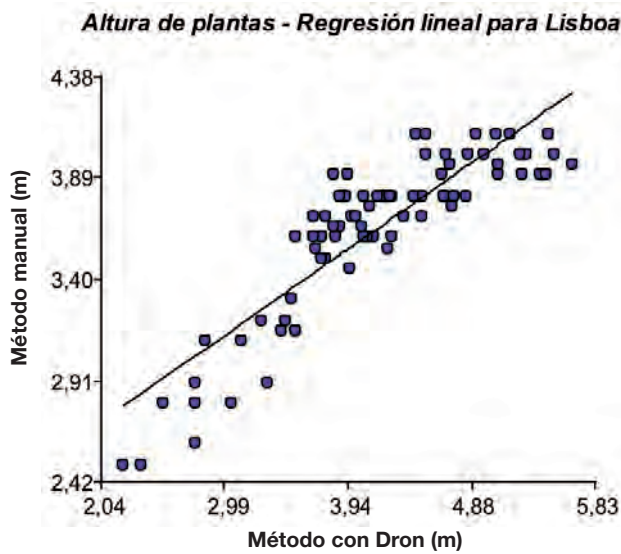


Figura 7. Regresión lineal de método clásico vs método con dron para altura de plantas en limonero Lisboa Frost. Nuc.

Volumen de copa

Los resultados de las regresiones lineales simples para el volumen de copa se pueden observar en la Tabla 2. En todos los casos el coeficiente de determinación R^2 tiene valores de entre 0,81 y 0,88, lo que indica una fuerte relación directa y positiva entre ambos métodos, con un nivel de significancia global del modelo $p < 0,0001$, al igual que los coeficientes de las ecuaciones de la recta de regresión. Estas correlaciones entre métodos son consistentes a los realizados por Carbonell-Rivera *et al.* (2019) para determinar parámetros dendrométricos en arbustos de *Nerium oleander* L. Las Figuras 7, 8 y 9 representan gráficamente los resultados de cada una de las regresiones.

Los valores de los coeficientes de determinación de las regresiones lineales para altura de plantas y volumen de copa indican que el método de fotogrametría con dron es una alternativa al método manual. Esto también lo demostraron Kobayashi *et al.* (2019) para la clasificación de árboles cítricos; y Wu *et al.* (2019) para determinar la estructura de la copa de mango, palta y macadamia, ambos a partir de información generada por dron.

Tabla 2. Resultados de las regresiones lineales del volumen de copa para cada parcela de estudio.

Parcelas	Coeficiente de Determinación R^2	Nivel de significancia del modelo (p-valor)	Coeficientes		Ecuación recta de regresión
			Intercepción	Método con Dron	
Eureka Frost, nuc.	0,89	< 0,0001	13,58 (p-valor < 0,0001)	0,89 (p-valor < 0,0001)	$y = 0,89x + 13,58$
Lisboa Frost, nuc.	0,84	< 0,0001	17,28 (p-valor < 0,0001)	0,73 (p-valor < 0,0001)	$y = 0,73x + 17,28$
Génova EEAT	0,81	< 0,0001	22,75 (p-valor < 0,0001)	0,75 (p-valor < 0,0001)	$y = 0,75x + 22,75$

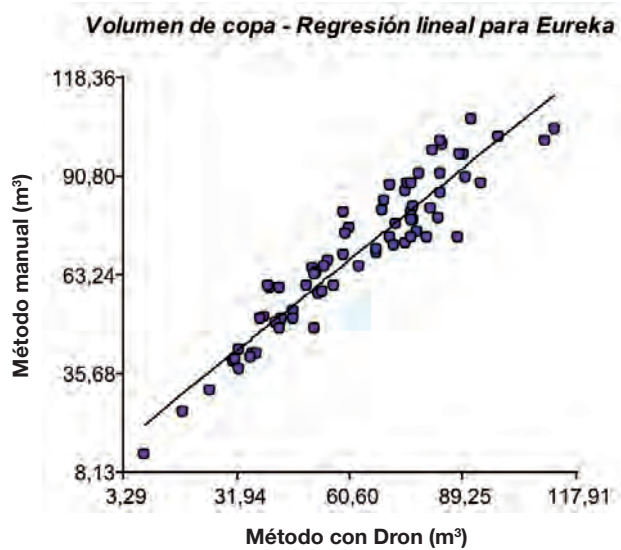


Figura 7. Regresión lineal simple método clásico vs método con dron para volumen de plantas en limonero Eureka Frost. nuc.

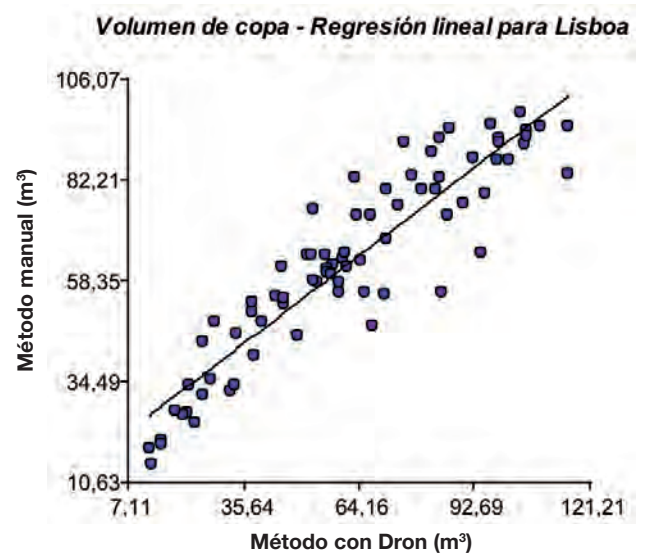


Figura 8. Regresión lineal simple método clásico vs método con dron para volumen de plantas en limonero Lisboa Frost. nuc.

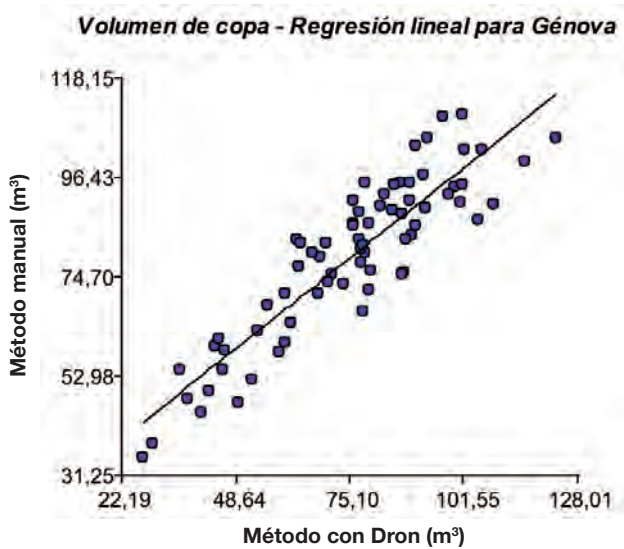


Figura 9. Regresión lineal simple método clásico vs método con dron para volumen de plantas en limonero Génova EEAT.

CONCLUSIONES

Según la dispersión de puntos en las gráficas, el valor de los coeficientes de determinación y el nivel de significancia para cada caso, puede concluirse que existe una fuerte correlación directa entre el método clásico y el método de fotogrametría con drones para estimar la altura y el volumen de las plantas de limonero Eureka, Lisboa y Génova.

Preliminarmente, estos resultados permitirían concluir que los drones son una efectiva alternativa a los métodos tradicionales de medición de la altura y volumen de copa de los árboles cítricos.

Incorporar los vuelos con dron para medir la altura de plantas y el volumen de copa del monte frutal sería muy importante desde el punto de vista operativo y logístico. Esto permitiría obtener enfoques más precisos de poda y aplicaciones fitosanitarias para el rendimiento y la calidad de la fruta.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Carbonell-Rivera, J. P.; J. Estornel; L. A. Ruiz; J. Torralba; I. López-Cortéz y D. Salazar. 2019. Comparación de medidas de *Nerium oleander* L. mediante medición clásica, láser escáner terrestre (TLS) e imágenes derivadas de drones (UAV). Conference: XVIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección At: Valladolid. [En Línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336140549_Comparacion_de_medidas_de_Nerium_oleander_L_mediante_medicion_clasica_laser_escaner_terrestre_TLS_e_imagenes_derivadas_de_drones_UAV/citations. Consultado: septiembre 2022.

Chen, Y.; H. Zhu H. and E. Ozkan. 2012. Development of

a Variable-Rate Sprayer with Laser Scanning Sensor to Synchronize Spray Outputs to Tree Structures. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). [En Línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/270607283_Development_of_a_Variable-Rate_Sprayer_with_Laser_Scanning_Sensor_to_Synchronize_Spray_Outputs_to_Tree_Structures. Consultado: septiembre 2022.

Colaço, A. F.; R. G. Trevisan; J. P. Molin; J. R. Rosell-Polo and A. Escola. 2017. Orange tree canopy volume estimation by manual and LiDAR-based methods. Advances in Animal Biosciences 8 (2): 477– 480.

Colauto Stenzel, N. M.; C. S. Vieira Janeiro Neves; M. B. Dos Santos Scholz e J. C. Gomes. 2005. Comportamento da laranjeira ‘FolhaMurcha’ em sete portaenxertos no noroeste do Paraná. En <https://www.scielo.br/j/rbf/a/sD6wR4PDYjN9Jvc8Ygdtm9c/?format=pdf&lang=pt>. Consultado: agosto 2022.

Contreras Arias, M. A. 2022. Modelamiento Tridimensional del Volumen del Dosel Mediante un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) de Bajo Costo en un Huerto Intensivo de Avellano Europeo (*corylus avellana* L.). Memoria de Título. Universidad de Talca. Chile. [En Línea] Disponible en: <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12887/3/2022A000674.pdf> Consultado: septiembre 2022.

Di Rienzo, J. A.; M. Balzarini; F. Casanaves; L. Gonzáles; M. Tablada y C. W. Robledo. 2020. Infostat Profesional. Versión 2020. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Guevara – Bonilla. 2020. Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. Revista Tecnología en Marcha 33 (4), pp. 77–88. [En Línea] Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822020000400077&script=sci_abstract&tlng=es. Consultado: agosto 2022.

Kobayashi, F.; A. Mattos; M. Macedo & B. Gemignani. 2019. Citrus Tree Classification from UAV Images: Analysis and Experimental Results. In Anais do XV Workshop de Visão Computacional. Porto Alegre: SBC, pp. 31-36. doi:10.5753/wvc.2019.7624.

Martínez Guanter, J.; F. Tucci; O. E. Apolo; J. Agüera Vega; G. Egea; D. Andújar y M. Pérez-Ruiz. 2019. Diseño y primeros resultados de una plataforma móvil eléctrica de registro de datos para agricultura de precisión. X Congreso de Agroingeniería. [En Línea] Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/289999608.pdf>. Consultado: septiembre 2022.

Tucker, D. P. H.; T. A. Wheaton and R. P. Muraro. 1994. Citrus Tree Pruning Principles and Practices. Florida Cooperative Extension Service. Fact Sheet HS-144. University of Florida. [En Línea] Disponible en: <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/46/22/00001/CH02700.PDF>. Consultado: octubre 2022.

Tumbo, S. D.; M. Salyani; J. D. Whitney and W. M. Miller. 2002. Investigation of Laser and Ultrasonic Ranging Sensors for Measurements of Citrus Canopy Volume. Applied Engineering in Agriculture 18 (3). Doi: 10.13031/2013.8587.

Wheaton, T. A.; W. S. Castle; D. P. H. Tucker and J. D.

- Whitney. 1978.** Citrus- Concepts Higher Density Plantings For Florida. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, Agricultural Research and Education Center. [En Línea] Disponible en: https://crec.ifas.ufl.edu/extension/citrus_rootstock/rootstock-literature/1978%20FSHS,%20Symp%20%20-%20Concepts.pdf. Consultado: octubre 2022.
- Wheaton, T. A.; J. D. Whitney; W. S. Castle; R. P. Muraro; H. W. Browning and D. P. H. Tucker. 1995.** Citrus Scion and rootstock, topping height, and tree spacing affect tree size, yield, fruit quality, and economic return. *Journal American Society of Horticultural Science* (1995) 120 (5): 861–870.
- Wu, D. 2019.** Measuring canopy structure for horticulture tree crops using remote sensing datasets. Tesis de doctorado. Universidad de Quensland. Australia. [En Línea] Disponible en: <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:7e8d825>. Consultado: septiembre 2022.
- Wu, D.; K. Johansen; S. Phin; A. Robson and Y. Tu. 2020.** Inter-comparison of remote sensing platforms for height estimation of mango and avocado tree crowns. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. [En Línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339598902_Inter-comparison_of_remote_sensing_platforms_for_height_estimation_of_mango_and_avocado_tree_crowns. Consultado: octubre 2022.
- Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985.** Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. [En Línea] Disponible en: <https://www.edafologia.org/descargas/>. Consultado: julio 2022.