

ESTIMACIÓN DE ALTURAS DE PINUS RADIATA D. DON EN SAN JUAN, CHIMBORAZO, USANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

Estimation of Pinus radiata D. DON tree heights in San Juan, Chimborazo, using unmanned aerial vehicles

- Fabián Marcelo Remache Reinoso *
- Shirley Dayana Horna Durán
- Norma Ximena Lara Vásquez
- Diego Francisco Cushquicullma Colcha
- Eduardo Antonio Muñoz Jácome

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal, Riobamba, Ecuador.

*marcelo.remache@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

La evolución de la tecnología ha hecho posible su aplicación en el sector forestal las aeronaves tripuladas conocidas como drones han tenido una incidencia creciente los drones se ha convertido en dispositivos con una amplia variedad de funciones con facilidad de manejo. La presente investigación se desarrolló en una plantación forestal ubicada en la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Se escogió 15 árboles en el rodal joven (6 años) y 15 árboles en el rodal adulto (25 años) los cuales fueron seleccionados de forma aleatoria dentro de toda el área de investigación el equipo de medición utilizado fue el clinómetro digital Haglof y con un distanciómetro marca Leica D5 se midió la distancia del punto del observador al árbol se utilizó el dron Mavic Air 2 y una estación RTK de marca Trimble se tomó 5 puntos de control considerando las irregularidades del terreno. Finalmente, los resultados de los coeficientes no son estadísticamente significativos, por lo que no se puede afirmar con confianza que tenga un efecto real en la variable dependiente (DIFERENCIA DE MEDICIONES) en función de los datos y el nivel de significancia seleccionado.

Palabras claves: *Plantación, Clinómetro, RTK, Drones, Altura.*

ABSTRACT

The evolution of technology has made possible its application in the forestry sector. Manned aircraft known as drones have had a growing incidence and drones have become devices with a wide variety of functions with ease of use. The present investigation was developed in a forest plantation located in the San Juan parish, Riobamba canton, province of Chimborazo. We chose 15 trees in the young stand (6 years old) and 15 trees in the adult stand (25 years old) which were randomly selected from the entire research area. The measuring equipment used was a Haglof digital clinometer and a Leica D5 distance meter to measure the distance from the observer's point to the tree, a Mavic Air 2 drone and a Trimble RTK station were used to take 5 control points considering the irregularities of the terrain. Finally, the results of the coefficients are not statistically significant, so it cannot be stated with confidence that it has a real effect on the dependent variable (DIFFERENCE OF MEASUREMENTS) based on the data and the significance level selected.

Keywords: *Plantation, Clinometer, RTK, Drones, Height.*

I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los inventarios forestales se diseñaban para cubrir las necesidades de información relacionadas con la tala. En muchos países, estos datos se recogen en parcelas de muestreo para inferir sobre la población forestal. Según (1), estas parcelas pueden ser de forma circular, rectangular o lineal, y varían en tamaño desde los 100 m² hasta los 800 m², dependiendo de los objetivos básicos del levantamiento (2).

La altura (H) y el diámetro a la altura del pecho (DAP) son los parámetros más importantes medidos en un inventario con fines comerciales (3). Actualmente, estos datos se obtienen de la manera tradicional, mediante salidas al campo con un equipo capacitado, lo que requiere mano de obra, costos y tiempo. Se necesitan nuevos métodos que sean eficaces y eficientes, y que permitan obtener información detallada y actualizada, caracterizando la estructura y los componentes del bosque (4). A medida que la demanda de inventarios forestales continúa aumentando en un contexto de recursos financieros reducidos, las tecnologías de teledetección desempeñan un papel cada vez más importante (5). Aunque existen diferentes satélites que permiten obtener datos relevantes sobre un bosque, cuando se requieren datos biométricos con alta precisión es necesario utilizar otros equipos, como el LiDAR (Light Detection and Ranging). Sin embargo, el uso de esta tecnología está limitado debido a sus altos costos (6).

La fotogrametría digital ha evolucionado rápidamente en los últimos años, con la disponibilidad de software que utiliza algoritmos sofisticados para el procesamiento y extracción de datos (7). Estos algoritmos comienzan con la extracción automática de puntos clave en las imágenes, los cuales son identificados y emparejados entre sí. Posteriormente, se realizan ajustes de paquetes para calcular simultáneamente los parámetros de la cámara y generar un nuevo conjunto de puntos en 3D (8).

La comprensión de las dinámicas de las masas forestales es fundamental para su correcta gestión y ordenación, en ocasiones no basta con un inventario cualitativo, siendo necesaria una valoración cuantitativa, mediante la estimación de variables dasométricas (9).

(10) menciona que el inventario forestal es el método más usado para medir y registrar los datos del bosque, el procesamiento de los datos obtenidos permite obtener información de cantidad y calidad del arbolado, el procesamiento de los datos obtenidos permite obtener información cantidad y calidad del arbolado, todas estas características requeridas para un inventario, generan problemas para evaluar una superficie forestal de grandes extensiones, no siempre se cuenta con los elementos necesarios para llevar a cabo; según (11) la forma de la distribución de las muestras es en gran parte del éxito del inventario forestal. Los drones se están utilizando para vigilar el estado de la sequía en los bosque y áreas naturales (12). Las aplicaciones RPAS, tal como la fotogrametría y topografía están plenamente operativas, consiguiendo un gran ahorro de tiempo y costos reduciendo los riesgos personales escenarios de acceso difícil o peligroso (13). El marcado avance en la tecnología y la disminución en los costos de adquisición ha permitido el uso de drones en el ámbito civil lo que se espera tenga grandes beneficios a la sociedad (14).

Otro problema ligado al tamaño de muestra son los altos costos del muestreo, ya que pequeños incrementos en precisión lo elevan considerablemente. Actualmente los vehículos aéreos no tripulados o también conocidos como drones han generado mucho interés por sus múltiples aplicaciones (15). Así como usos y tendencias de los VANT en los principales estudios científicos forestales favorecerá a potencializar los alcances en ciertas líneas de investigación forestal (16). Además, los costos y el conocimiento requerido para su implementación han disminuido constantemente debido a los avances rápidos en el desarrollo de unificación de hardware y software (17). Por ejemplo, los drones pueden ofrecer imágenes de alta calidad y alta resolución en días nublados (18).

Mediante técnicas de procesamiento fotogramétricos AP-navegan, como la estructura de los algoritmos de movimiento, los vehículos aéreos no tripulados (drones) permiten una adquisición de datos hipertemporal e hiperespacial de nubes de puntos 3D (19). Por lo tanto, los drones han demostrado ser valiosas plataformas para las cámaras métricas, que permiten crear nubes de puntos fotogramétricos a través de la estructura de la técnica de movimiento de montaje; de tal manera se

puede generar ortofotos, modelos e imágenes 3D con alta resolución. Actualmente se han hecho estudios recientes que han demostrado la capacidad de los drones, usados en los inventarios forestales (20) un ejemplo de un estudio hecho en frailejones en Carchi para la estimación de alturas (21). Los drones pueden ofrecer imágenes de alta calidad y alta resolución en días nublados (22).

Gracias a estas herramientas se pueden caracterizar de manera eficiente en escalas de centímetros los diferentes estratos forestales (23). Las grandes cantidades de datos recopilados por los vehículos aéreos no tripulados equipados con sensores a bordo pueden ayudar a proporcionar información (24). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad de las nuevas tecnologías fotogramétricas para la estimación de una de las variables dasométricas forestales de un inventario en rodales sin manejo, con vehículos aéreos no tripulados (drones).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en una plantación forestal ubicada en la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. La ubicación geográfica es 9 819 065 Norte, 749 464 Este (UTM, Zona 17S, Datum WGS84) y a una altitud de 3 268 msnm. La temperatura promedio anual es de 12°C, precipitación promedio anual de 800-1000 mm, velocidad del viento 3,4 Km/h. Corresponde a Bosque húmedo montano. Suelo franco – arenoso, topografía con pendientes irregulares hasta el 40%.

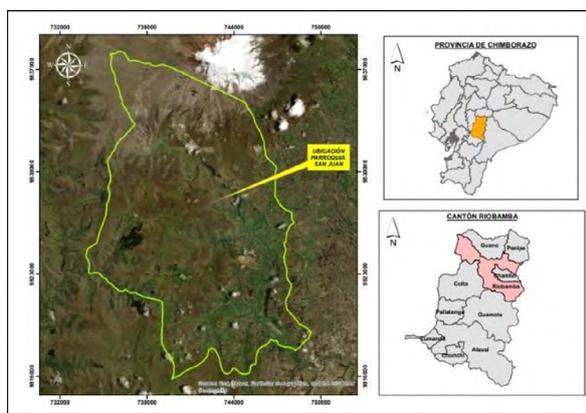


Figura 1. Mapa zonificación del área de estudio.

Mediante un reconocimiento de la plantación por los 2 rodales coetáneos, se ubicaron y georreferenciaron árboles a ser objeto de

medición generando un mapa con el Software ArcGIS 10.6.1. 2.1

Actividades previas para la recolección de datos

Durante la implementación del experimento, se podaron árboles para asegurar una mejor movilidad del equipo, eliminando obstáculos durante su uso con los diferentes tipos de Dron. Luego, cada uno de los árboles fue marcado con una franja de spray de color rojo a la altura del pecho (1,30 m). Esta marca permite una mayor visualización de la nube de puntos generada durante el procesamiento por un software específico.

Medición de alturas

En este estudio se midió la altura total de una muestra de 30 árboles tomando como referencia el estudio realizado por (25). Se escogieron 15 árboles en el rodal joven (6 años) y 15 árboles en el rodal adulto (25 años) los cuales fueron seleccionados de forma aleatoria dentro de toda el área de investigación. El equipo de medición utilizado fue el clinómetro digital haglof y con un distanciómetro marca Leica D5 se midió la distancia del punto del observador al árbol.

Obtención de imágenes de dron y puntos de control

Para las fotografías se utilizó el dron Mavic Air 2, del cual las características son: cámara de 48 megapíxeles en fotografía, resolución de video 4k, distancia de vuelo 6 km, tiempo de vuelo 20 min, con una estación RTK de marca Trimble se tomó 5 puntos de control considerando las irregularidades del terreno.

Planificación y ejecución del vuelo con UAV

La planificación del vuelo se lo realizó mediante la aplicación Dronelink. Para la planificación se consideró una altura de 90 metros, que proporcionó un tamaño de pixel 2.77 cm y un traslape vertical y horizontal del 80% entre fotografías. El vuelo tuvo un tiempo de duración de 10:08 minutos, cubrió aproximadamente 1 hectárea y se utilizó una batería. El resultado final del vuelo generó 120 fotografías.

Puntos de control en tierra – GCP

Los puntos de control terrestre son ubicaciones

específicas en el área de interés que tienen coordenadas conocidas. Estos puntos se establecen principalmente para proporcionar información valiosa en los procesos de georreferenciación de objetos o fenómenos espaciales, según las necesidades y características de cada proyecto (26).

Para obtener las coordenadas geográficas se emplearon tres unidades receptoras GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) L1/L2 de doble frecuencia. Un receptor GNSS se usa como base durante 4 horas de adquisición, mientras que los otros dos funcionan como receptores móviles (hover), con un tiempo de adquisición de 15 minutos, y se distribuyen en cada vértice. La base se colocó a 60 metros de la posición de la unidad móvil.

Validación

Para la comparación o validación de los datos del dron se realizó un muestreo simple al azar, seleccionando una muestra de n=15 árboles/rodal del censo del procesamiento de las imágenes con dron. Físicamente se fue a cada rodal para medir alturas totales (m) para la comprobación.

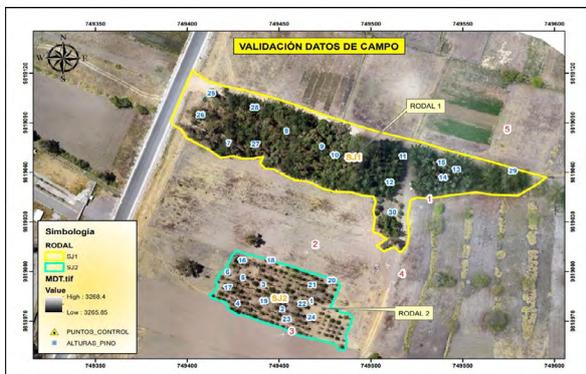


Figura 2. Mapa del censo forestal con fotografía de dron y procesamiento SIG para rodales 1 y 2.

Estimación de alturas de árboles

Para el cálculo de las alturas de árboles de pino se utilizó la metodología propuesta por (27) en cuanto a la diferencia del DSM y DTM. A través de la información proporcionada por el DSM y DTM, se realizó el siguiente procedimiento en Arcgis:

- 1.- Se identificó los árboles de pino medidos en campo, y se los señalo mediante un archivo shapefile tipo "punto".
2. Se utilizó la herramienta "Extract Multi Values

to points" ubicada en la caja de herramientas "ArcToolBox". En el cuadro de diálogo de la herramienta se insertó el archivo shapefile, y los 2 archivos ráster (DSM y DTM) (Figura 2). Esta herramienta permite obtener las altitudes correspondientes a ese punto, obteniéndolas del DSM y del DTM.

3. Finalmente, en la tabla de atributos del shapefile se creó un nuevo campo, donde, mediante el uso de la calculadora de campo, se restó los valores obtenidos del DSM y del DMT. Este valor, producto de la resta entre la altitud del DSM y DTM (en unidades de metros sobre el nivel del mar -msnm-), es la altura del árbol.

Validación del modelo digital con las alturas medidas en campo

Para la validación de las alturas obtenidas en el modelo digital se realizó en el software RStudio, siguiendo la metodología de (28)

1. Herramienta "Extract Multi Values to Points". Figura 26. Izq: DSM. Der: DTM. 56 1. Se escogieron 80 plantas de forma aleatoria para realizar una regresión lineal entre las alturas en campo y las generadas en el modelo, con la finalidad de obtener una ecuación que permita obtener los valores predichos de altura.
2. Se realizó una gráfica entre valores ajustados y residuos estandarizados de la regresión lineal para analizar la presencia de valores atípicos en el conjunto de datos. Los valores atípicos fueron eliminados y se realizó una nueva regresión lineal para obtener la ecuación. El conjunto de datos fue evaluado nuevamente con la gráfica de valores ajustados y residuos estandarizados.
3. La ecuación obtenida fue aplicada en las 20 plantas restantes, utilizando la información de alturas del modelo digital. A partir de los resultados obtenidos de alturas predichas de estas 20 plantas, y usando sus respectivas alturas obtenidas en campo, se calculó la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el cual es un parámetro que permite medir el error existente entre 2 conjuntos de datos
4. Se utilizó las pruebas de Shapiro – Wilk, Kolmogorov y Jarque Bera para evaluar la normalidad de los residuales de la regresión. Si el valor de significancia (p) es menor a 0.05 (confianza del 95%), significará que los residuales

no poseen una distribución normal, y que los parámetros del modelo no son exactos.

5. Además, mediante un análisis de la gráfica resultante entre los residuales y los valores ajustados de la regresión se evaluó la hipótesis de homocedasticidad.

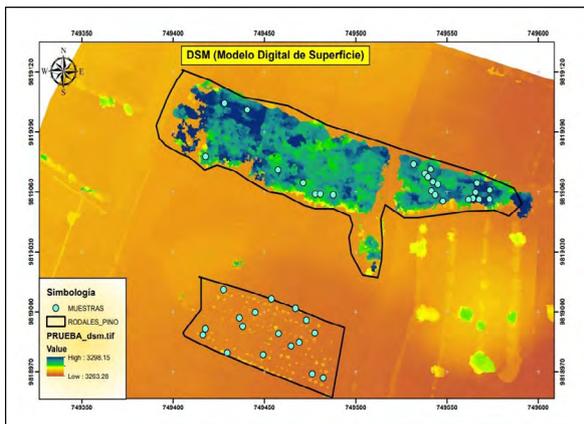


Figura 3. Modelo Digital de Terreno de la zona de estudio.

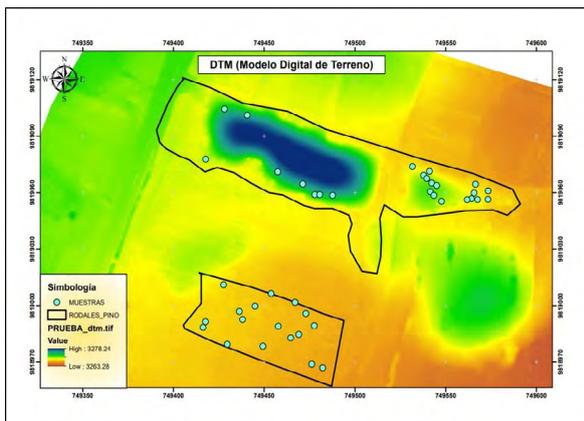


Figura 4. Modelos Digital de Superficie de la zona de estudio.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del procesamiento de imágenes y generación de DTM.

Como resultados del procesamiento de imágenes en el software Pix4D se obtuvo la ortofotografía del área de estudio, la cual fue cargada en ArcGIS 10.6.1 con la identificación de los puntos de control y de la muestra de 41 árboles de *Pinus radiata* D. DON medidos en campo. Además, mediante el procesamiento de las fotografías aéreas se obtuvo el DSM y a partir de los puntos topográficos en campo el DTM (29).

Los puntos de control tienen una precisión muy

alta, que varía de milímetros a centímetros, lo que asegura una buena geolocalización de cada bloque respecto a su ubicación real. Al observar la resolución espacial del GSD en un proyecto fotogramétrico (Distancia de prueba de fuente), se puede ver que es mejor que la obtenida en el procesamiento de los GCP. Sin embargo, una menor calidad en los GCP puede ocasionar una pérdida de calidad en la nube de puntos generada por el proyecto.

Los GCP con menor precisión pueden introducir errores en el modelo generado. Esto ya ha sido observado por la medición del volumen de troncos. No obstante, aunque los valores de precisión de los GCP sean en milímetros y mejores que la resolución GSD, los resultados de la medición tienden a mejorar. Por lo tanto, para el proyecto en cuestión, es crucial utilizar GCP de alta precisión, especialmente cuando se considera una pequeña distancia entre los receptores GNSS Base y Hover, lo que aumenta las probabilidades de un buen procesamiento de la posición adoptada.

Validación de alturas del modelo digital frente a los datos tomados en campo con una prueba T.

Se realizó una prueba T para una muestra para determinar si la media de una muestra de datos es significativamente diferente de un valor de referencia o poblacional conocido (generalmente denotado como " μ ").

La prueba t para una muestra es una herramienta común en la estadística y se utiliza en una variedad de aplicaciones, como comparar la eficacia de un tratamiento con respecto a un valor de referencia, evaluar la calidad de un proceso de fabricación, o verificar si una muestra proviene de una población con una media conocida.

Valor de prueba =0					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior Superior
DIFERENCIA	-2,032	40	0,049	-,29440	-,5872 - ,0016

Tabla 3. Prueba de muestra única.

El valor de p obtenido es 0,049 que indica que el resultado es estadísticamente significativo que indica que las diferencias observadas o los resultados encontrados en un estudio o

experimento no se deben al azar, sino que son lo suficientemente grandes o notables como para considerar que representan una verdadera diferencia o efecto en la población de la que se extrajo la muestra. ya que el valor p es menor que α . En este caso, tendrías evidencia para rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa.

Luego se procedió a calcular el intervalo de confianza superior e inferior al 95%.

Se realizó el gráfico de dispersión y luego se añadieron las líneas de la media, los intervalos de confianza superior e inferior a fin de obtener el gráfico de Análisis de Bland-Altman: Este análisis compara las diferencias entre las mediciones tomadas con dos instrumentos en función del valor promedio de las mediciones. Se crea un gráfico de Bland-Altman que muestra las diferencias en el eje vertical y el promedio de las mediciones en el eje horizontal. Esto permite identificar cualquier sesgo sistemático entre las dos alturas y evaluar la concordancia.

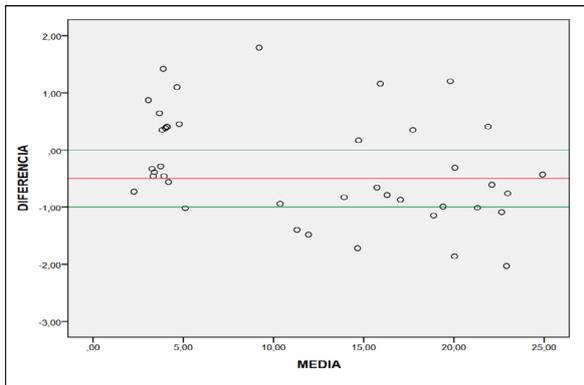


Figura 5. Análisis de Bland-Altman.

Son 19 mediciones las cuales están dentro del intervalo de confianza sugiere que las mediciones son consistentes con el nivel de concordancia, los dos métodos de medición están en acuerdo y que las diferencias observadas son atribuibles a la variabilidad aleatoria en lugar de a sesgos sistemáticos.

Cabe indicar que 22 mediciones se ubican fuera del intervalo de confianza (15 mediciones por encima del intervalo de confianza superior y 7 mediciones por debajo del intervalo de confianza inferior), lo que indica que las diferencias entre los dos métodos de medición son mayores de lo esperado y que, en esos casos específicos, los dos métodos están en desacuerdo, lo que

se consideraría una discrepancia aceptable o esperada.

Finalmente se realizó una regresión lineal entre la diferencia como variable dependiente y la media como variable independiente.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,378 ^a	,143	,121	,86984

Tabla 4. Prueba de muestra única.

El valor de 0,143 del coeficiente de determinación, también conocido como R cuadrado (R^2), en un modelo de regresión lineal significa que aproximadamente el 14,3% de la variabilidad en la variable dependiente (diferencia) puede ser explicada por el modelo de regresión lineal utilizado. En otras palabras, el R cuadrado indica la proporción de la variación en la variable dependiente que es explicada por la variable independiente o variables independientes incluidas en el modelo.

Algunos estudios utilizan diferentes enfoques para capturar imágenes con alta superposición, tanto en parcelas circulares como desplazándose hasta 3 metros de distancia de los árboles. Al capturar imágenes durante la recolección, estas estuvieron expuestas a mayor luz, y los modelos procesados generaron ruido, dificultando la identificación de algunas ramas en los árboles, especialmente en nuestros modelos obtenidos con el Mavic 3 Multiespectral.

El ruido en estos modelos se manifestó como superposición de nubes de puntos en algunos casos y pérdidas en otros, impidiendo la identificación de algunas ramas que habían sido medidas directamente durante la recolección. Además, muchos árboles y bloques se superpusieron entre sí en varios modelos de nube de puntos, y algunos no fueron modelados, es decir, no aparecieron en la nube de puntos.

IV. CONCLUSIONES

La fotogrametría es una herramienta viable para la obtención de datos biométricos tales como, altura y diámetro a la altura del pecho de forma automatizada, los puntos de control terrestre deben considerarse estándares para

obtener resultados más precisos en proyectos fotogramétricos, ya que permiten una buena geolocalización de un objeto en cuanto a su posición real, ayudando a mejorar la precisión de las estimaciones.

Para realizar proyectos fotogramétricos hay que tener en cuenta la distancia focal de las cámaras, ya que ellas con mayor distancia tienden a obtener detalles más pequeños en fotos en el plano horizontal. Se debe tener en cuenta la fase fenológica del rodal cuando el propósito es medir la altura total, ya que la luminosidad interna influye negativamente, provocando que algunas ramas no estén bien modeladas en la nube de puntos.

Los resultados de los coeficientes no son estadísticamente significativos, por lo que no se puede afirmar con confianza que tenga un efecto real en la variable dependiente (DIFERENCIA DE MEDICIONES) en función de los datos y el nivel de significancia seleccionado.

V. AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al ingeniero Abel Isaías Huisha Marcatoma por su colaboración en la operación de vuelos con dron Mavic 3 Multiespectral, el cual nos permitió capturar imágenes con mejor resolución de pixel.

V. REFERENCIAS

1. Cabrera J, Lamelas MT, Montealegre AL. Estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR PNOA en masas regulares de *Pinus halepensis* Mill. 2014.
2. Ferreira Rojas O. Manual de inventarios forestales. Escuela Nacional de Ciencias Forestales; 1990.
3. Gambetta F, Bermudez. Curso inventarios forestales en bosques secos [Internet]. 1994. Available from: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1056>
4. Suh J, Choi Y. Mapping hazardous mining-induced sinkhole subsidence using unmanned aerial vehicle (drone) photogrammetry. *Environ Earth Sci*. 2017;76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6458-3>
5. Rouse JW, Haas RH, Deering DW, Schell JA, Harlan JC. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation (E75-10354) [Internet]. 1974. Available from: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>
6. Gutiérrez ARH, Duarte MAT, France RG, León RR. El uso de drones en ciencias de la tierra. *Reacción. Revista arbitrada de divulgación científica de la Universidad Tecnológica de León*. 2017 Jan 23 [Internet]. Available from: http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_El_uso_de_drones_en_ciencias_de_la_tierra.html
7. Baena S, Boyd DS, Moat J. UAVs in pursuit of plant conservation—Real world experiences. *Ecol Inform*. 2018;47:2-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.11.001>
8. Gago J, Douthe C, Coopman RE, Gallego PP, Ribas-Carbo M, Flexas J, et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agric Water Manag*. 2015;153:9-19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
9. Colomina I, Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2014;92:79-97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
10. Rejeb A, Abdollahi A, Rejeb K, Treiblmaier H. Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Comput Electron Agric*. 2022;198:107017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>
11. Cuerno Rejado C, Garcia Hernandez L, Sanchez Carmona A, Carrio Fernandez A, Sanchez Lopez JL, Campoy Cervera P. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS HASTA LA ACTUALIDAD. *DYNA Ing Ind*. 2016;91(1):282-8. <https://doi.org/10.6036/7781>

12. Westoby MJ, Brasington J, Glasser NF, Hambrey MJ, Reynolds JM. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*. 2012;179:300-14. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
13. Fritz A, Kattenborn T, Koch B. UAV-BASED PHOTOGRAMMETRIC POINT CLOUDS – TREE STEM MAPPING IN OPEN STANDS IN COMPARISON TO TERRESTRIAL LASER SCANNER POINT CLOUDS. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. 2013;XL-1-W2:141-6. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-141-2013>
14. Hung C, Bryson M, Sukkarieh S. Multi-class predictive template for tree crown detection. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2012;68:170-83. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.01.009>
15. Noboa S. Estimación de altura de frailejones (*Espeletia pycnophylla*) en el volcán Chiles mediante UAV (Carchi – Ecuador) [Master's thesis]. Universidad Politécnica Salesiana; 2019.
16. Manfreda S, McCabe M, Miller P, Lucas R, Madrigal V, Mallinis G, et al. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring [Internet]. 2018. <https://doi.org/10.20944/preprints201803.0097.v1>
17. Cunliffe AM, Brazier RE, Anderson K. Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry. *Remote Sens Environ*. 2016;183:129-43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.019>
18. Moradi S, Bokani A, Hassan J. UAV-based Smart Agriculture: A Review of UAV Sensing and Applications. 2022 32nd International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC). 2022:181-4. <https://doi.org/10.1109/ITNAC55475.2022.9998411>
19. Reyes-Zurita N, Rodríguez-Ortiz G, Valle JRE-D, Jiménez-Colmenares CL, Rincón-Ramírez JA. Estimación de variables dasométricas en rodales bajo manejo forestal con vehículos aéreos no tripulados. *FIGEMPA: Investig Desarro*. 2022;13(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3299>
20. White L, Lucieer A, Turner D, Watson C. Evaluación y mitigación de errores para levantamientos LiDAR hipertemporales transportados por UAV del inventario forestal. *Actas de Silvilaser, Hobart*. 2011.
21. Queiroz WT. Amostragem em inventário florestal. Belém: Universidade Rural do Amazônia; 2012. 441 p.
22. Mikita T, Janata P, Surov P. Inventario de rodales forestales basado en fotogrametría combinada aérea y terrestre de corto alcance. *Bosques*. 2016;7(8):1-14.
23. Groot A, Cortini F, Wulder MA. Relaciones de atributos de fibra de copa para un inventario forestal mejorado: Progreso y perspectivas. *For Chron*. 2015;91(3):266-79.
24. Wallace L, Lucieer A, Turner D, Watson C. Evaluación y mitigación de errores para levantamientos LiDAR hipertemporales transportados por UAV del inventario forestal. *Actas de Silvilaser, Hobart*. 2011.
25. Bastian A. Análisis comparativo entre os programas para restituição Fotogramétrica photomodeler y orthowre. III Seminario Internacional sobre Documentación del Patrimonio Arquitectónico con el Uso de Tecnologías Digitales. Joao Pessoa. PB; 2014. p. 119-29.
26. Iglhaut J, Cabo C, Puliti S, Piermattei L, O'Connor J, Rosette J. Estructura de la fotogrametría de movimiento en la silvicultura: una revisión. *Informes For Actuales*. 2019;5(3):155-68.
27. Ablanado ES, Candler JH, Pérez JRR, Ordoñez C. Precisión de levantamientos de fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados (UAV) y SFM en función del número y ubicación de los puntos de control terrestre utilizados. *Teledetección*. 2018;10(10):2-19.
28. Figueiredo EO, D'Oliveira MVN, Cerraduras CJ, Papá DA. Estimativa del Volumen de Madeira en

Pátios de Estocagem de Toras por medio de Câmaras RGB Instaladas en Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). Bol Cien For.

29. Rouse JW, Haas RH, Deering DW, Schell JA, Harlan JC. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation (E75-10354) [Internet]. 1974. Available from: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>