

# Implementación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS) como estrategia en la gestión de Bosques Urbanos en Bogotá, Colombia

---

Juan Francisco Guzmán Zabala

jfguzmanz@sena.edu.co

Grupo de investigación SENNOVA CTCM SENA Bogotá, Semillero de Investigación

Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, Bogotá, Cundinamarca

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA



Fotografía: archivos SENNOVA CTCM.



## Resumen

La ciudad de Bogotá (2018) cuenta con un patrimonio de 1.269.673 individuos arbóreos y arbustivos ubicados en espacio público, administrados a través del Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano para Bogotá, D.C. (SIGAU). El presente artículo tiene por objetivo documentar los avances realizados en la implementación de UAS para la Gestión de Bosques Urbanos, en la ciudad de Bogotá. Como resultado se presentan los principales avances en materia de norma de competencia laboral, normatividad, operación de UAS, el error de medición asociado al software fotogramétrico, el error en la medición de alturas de árboles con UAS vs metodologías tradicionales, generación de modelos 3D para individuos arbóreos con UAS y su implementación en proyectos de arquitectura a través de portal Web.

**Palabras clave** - UAS, Gestión de Bosques Urbanos, Bogotá, fotogrametría, error de medición.

## Abstract

The city of Bogotá (2018) has a heritage of 1.269.673 arboreal and shrubby individuals located in public space, managed through the Information System for the Management of Urban Trees for Bogotá, D.C. (SIGAU). The present article aims to document the progress made in the implementation of UAS for Urban Forest Management, in the city of Bogotá. As a result, the main advances in terms of labor competency standard, regulations, UAS operation, the measurement error associated with photogrammetric software, error in the measurement of tree heights with UAS vs traditional methodologies, generation of 3D models for arboreal individuals with UAS and their implementation in architectural projects through the Web portal.

**Keywords** - UAS, Urban Forest Management, Bogotá, photogrammetry, measurement error.

## Introducción

Para (Ideas Medioambientales, 2016) el arbolado urbano es un elemento fundamental de las ciudades, como lo es la iluminación o las calles, requiere de un mantenimiento técnico adecuado, realizado por profesionales especializados, ajeno a presiones e intereses políticos o circunstanciales, su correcta gestión evita riesgos para los ciudadanos.

En la actualidad el Distrito Capital de Bogotá, posee normatividad para la gestión forestal del arbolado urbano, siendo la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la designada a través del Decreto 383 de 2018, para su gestión a través del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB).

Según (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2018), la ciudad cuenta con un patrimonio arbóreo de un millón doscientos sesenta y nueve mil seiscientos setenta y tres (1.269.673) individuos arbóreos y arbustivos ubicados en espacio público de uso público y administrados a través del Sistema de información para la gestión del arbolado urbano para Bogotá, D.C. (SIGAU). Así, teniendo en cuenta la dinámica de crecimiento de los mismos se hace necesario adelantar actividades de manejo silvicultural, encaminadas a garantizar la persistencia del recurso con niveles de seguridad y calidad para su entorno y habitantes.

Para facilitar su gestión, reducir los costos asociados y cumplir la meta del plan de podas de 60.000 árboles/año dispuesta en decreto, se han explorado nuevas alternativas tecnológicas como la implementación de UAS o Drones como son llamados comercialmente, con el objetivo de actualizar el SIGAU, a través de nuevas aplicaciones como la fotogrametría y el Light Detection and Ranging (LIDAR) discreto (García, 2010). Estas nuevas tecnologías han dado como resultado el desarrollo de nuevo software capaz de realizar el conteo e inventario de árboles, el cálculo de altura de los árboles y el cálculo de volumen de copa.

Esta evolución tecnológica de acuerdo a INCAE (2017), ha crecido a un ritmo exponencial y no lineal en los últimos 10 años, su avance tan acelerado no da oportunidad a que se incorpore a la formación de profesionales con la misma velocidad, igualmente (Aeronáutica Civil de Colombia, 2015) y (Ramírez, 2015) manifiestan que la expedición de normativa sobre el uso de UAS no es acorde con los

avances tecnológicos, requiriendo tiempo para la implementación de la norma.

Para (Putch, 2017) los Drones se están convirtiendo rápidamente en los medios de referencia para la colección de fotografías aéreas a pedido de sectores productivos, tales como la construcción y la topografía. La capacidad de capturar rápidamente imágenes generadas por Drones y el uso de Aplicaciones Móviles (APP) de fotogrametría basadas en la nube, para procesar mapas ortomosaicos de alta calidad, brinda a los profesionales la capacidad de realizar mediciones lineales punto a punto, sin la necesidad de capturar datos manualmente en áreas peligrosas, incluyendo sitios de trabajo como: vías, minas, terrazas y otras estructuras elevadas, así como de difícil acceso (UPM, 2010, p. 2). De igual manera según (Pereira et al, 2019) los UAS son usados para completar un amplio rango de tareas como patrullaje, transporte y recolección de información, en un solo vuelo capturar información de grandes áreas, aportando información de alturas entre otras variables dasométricas, vitales para la gestión del arbolado urbano y asignación de responsabilidades a las diferentes entidades de las que habla el Decreto 383 de 2018.

De 2011 a hoy, (Saha et al., 2018) coincide en que los smartphone que incluyen las potentes aplicaciones APP para captura, almacenamiento y procesamiento de datos, en combinación con Drones de última generación a bajos costos, ofrecen una alternativa más que considerable para las mediciones y con cada vez menos errores de medida, gracias a que los Drones en la actualidad se soportan en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), así mismo, las tecnologías relacionadas con la configuración de la aeronave constituyen la tendencia con mayor actividad inventiva con 779 invenciones a 2015 (CIGEPI, 2015, p. 32). La implementación de UAS en Sistemas de Información Geográfico (SIG), se convierte en una parte fundamental del SIGAU para la gestión de los Bosques en Bogotá, base de datos actualizada por diferentes entidades, haciendo necesario emplear nuevas tecnologías que permitan agilizar el proceso de colección de la información y procesamiento, reduciendo tiempos y recursos económicos. Generando nuevas variables y permitiendo modelar el crecimiento de la población de árboles para generar planes de podas y asignar a las diferentes entidades responsabilidades acorde al inventario de la ciudad.

Siendo objetivo de este artículo documentar los avances realizados en la implementación de UAS para la Gestión de Bosques Urbanos en la ciudad de Bogotá, por el Servicio

Nacional de Aprendizaje (SENA), entre otras entidades como la Universidad Antonio Nariño (UAN) a través de su especialización SIG, con el apoyo del JBB.

El documento presenta dentro de sus principales avances: 1. Información general sobre la norma de competencia laboral desarrollada por el SENA, 2. Describe la normatividad actual para el uso de UAS, 3. Presenta información general sobre el manual publicado para la operación y aplicación de UAS desarrollado por el SENA, 4. Describe algunos detalles sobre el error de medición asociado al software fotogramétrico, proyecto del SENA 5. Presenta avances para el cálculo del error en la medición de alturas de árboles con UAS vs metodologías tradicionales, proyecto en desarrollo como parte de la especialización en SIG de la UAN con el apoyo del JBB y 6. Presenta información de los avances del proyecto de generación de modelos 3D para individuos arbóreos con UAS y su implementación en proyectos de arquitectura a través de portal Web de Fitotectura, desarrollado por el SENA.

## Metodología

### Zona de estudio

Los proyectos aquí mencionados han sido desarrollados en diferentes locaciones de la Ciudad de Bogotá, Colombia. Como parte del trabajo interinstitucional del SENA, el JBB y la UAN, desde el 2017, en el Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM).

### Métodos y técnicas de investigación

El presente artículo es una recopilación de saberes incorporados resultado de la ejecución de los proyectos del Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación SENNOVA, programa del SENA creado para el desarrollo de investigación aplicada y desarrollo tecnológico con aplicación al sector productivo, para la cual se llevó a cabo un estudio descriptivo con el objetivo de documentar los avances realizados en la implementación de Drones para la Gestión de Bosques Urbanos, en la ciudad de Bogotá, Colombia.

## Resultados

Para Julio 19 de 2018 el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) publica la norma de competencia laboral "Manejar aeronaves no tripuladas de acuerdo con procedimientos técnicos y normativa aeronáutica" versión 1 con código 220901047 con base en las Normas Sectoriales de Competencia Laboral (NSCL), con la cual se pretende estandarizar las competencias que debe poseer un piloto de UAS, para poder llevar a cabo los trabajos de campo

necesarios. Esta puede ser descargada a través del siguiente link: <http://certificados.sena.edu.co/claborales/>.

Para Diciembre 27 de 2018, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia emite la Resolución 04201 que incorpora a la norma RAC 91 los reglamentos Aeronáuticos sobre la operación de UAS y otras disposiciones. Para Febrero de 2019 ya es publicado el RAC 91 con la enmienda respectiva.

Durante el año 2018 el SENA a través del Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM) desarrolla el proyecto "Caracterización e implementación de aeronaves remotamente tripuladas para levantamiento topográfico, inspección de redes eléctricas e inspección de fachadas y terrazas", como resultado del mismo se elabora el manual para pilotaje de Drones y cálculo de áreas a través de fotogrametría (ver figura 1) denominado "Generalidades, caracterización e implementación de aeronaves remotamente tripuladas para levantamiento topográfico" que se encuentra publicado y disponible para descarga en el repositorio del SENA, a partir de Junio de 2019 en el siguiente link:

<https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5188>



Figura 1: Portada del Libro para el aprendizaje de pilotaje de Drones y cálculo de áreas con fotogrametría. Fuente: (Ibáñez et al., 2019)

# Implementación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS)

como estrategia en la gestión de Bosques Urbanos en Bogotá, Colombia

Igualmente para el 2018, se publica artículo en la revista Ciencia y Poder Aéreo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), el cual reporta las 5 principales APP usadas en el mercado de fotogrametría, con el objetivo principal de evaluar el error de medición asociado a cada una de ellas, a través de la construcción de Ortomosaicos con la cámara ZENMUSE X3 (FC350) de resolución de 12MP del Dron DJI Inspire 1, estableciendo puntos de control a través de estaciones topográficas con precisión al milímetro, con la finalidad de hallar el error asociado a cada uno de los Ortomosaicos construidos con las diferentes APP. Se encontró que el margen de error promedio para todas las

APP es de 1,11%, de igual manera se pudo determinar que la altura mínima para marcación de Puntos de control con cámara de 12 Mp es de 60m (ver tabla 2), la precisión en la medición mejora en 0.35%, siendo la mejor APP DroneDeploy (ver tabla 1) con un error promedio de 0,66%. Ofreciendo una alternativa tecnológica importante para mejorar el desempeño en servicios topográficos, el artículo completo se encuentra publicado en la revista ciencia y poder, descargable a través del siguiente link: <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderae/reo/article/view/603>.

Tabla 1. Margen de error sin GCP para las APP  
Fuente: (Zabala, Paternina, y Cárdenas, 2018)

Factor de correlación de altura/APP	Medición 1 (12 m) Error (m)	Medición 2 (15 m) Error (m)	Medición 3 (30 m) Error (m)	Promedio (m)
ALTIZURE	0,142	0,128	0,138	0,14
Pix4D	0,108	0,172	0,102	0,13
PrecisionFlight	0,167	0,246	0,156	0,19
DroneDeploy	0,108	0,115	0,090	0,10
MAP PILOT	0,117	0,121	0,092	0,11
<b>TOTAL</b>				0,13
Error promedio de medición (m)	0,129	0,156	0,116	0,13
Error promedio de medición (%)	1,1	1,3	1,0	1,11

Tabla 2. Coeficiente de correlación de errores de medición asociados  
Fuente: (Zabala, Paternina, y Cárdenas, 2018)

Altura de vuelo (m)	Medición 1 (12 m) Error (m)	Medición 2 (15 m) Error (m)	Medición 3 (30 m) Error (m)
20	0,08	0,08	0,16
30	0,11	0,12	0,26
60	0,17	0,24	0,41
120	0,20	0,27	0,44
Error promedio de medición (m)	0,14	0,18	0,32
Error promedio de medición (%)	1,16	1,18	1,06

En la actualidad se está llevando a cabo el proyecto "Cálculo del error en la medición de alturas de árboles asociados a la fotogrametría con Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS)", como parte de la tesis de grado de la Especialización en Sistemas de Información Geográfica (SIG) de la Universidad Antonio Nariño y que tiene por objetivo la reducción de los altos costos asociados a los inventarios forestales para la actualización del SIGAU, en la ciudad de Bogotá.

Para el trabajo de campo se están estableciendo diez (10) parcelas en la ciudad con árboles aislados, seleccionados a

través de modelación espacial en SIG (ver figura 2), en ArcGIS Versión 10.6, empleando las siguientes capas: **1.** Puntos de control oficial en la ciudad, **2.** Curvas de nivel (se seleccionaron áreas con pendientes inferiores al 10%), **3.** Censo arbolado urbano (capa provista por el JBB), **4.** Vías y **5.** Andenes.

Se establecerán cinco (5) puntos de control (PC) permanentes por parcela y se corregirán sus posiciones con el Punto de Control Oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

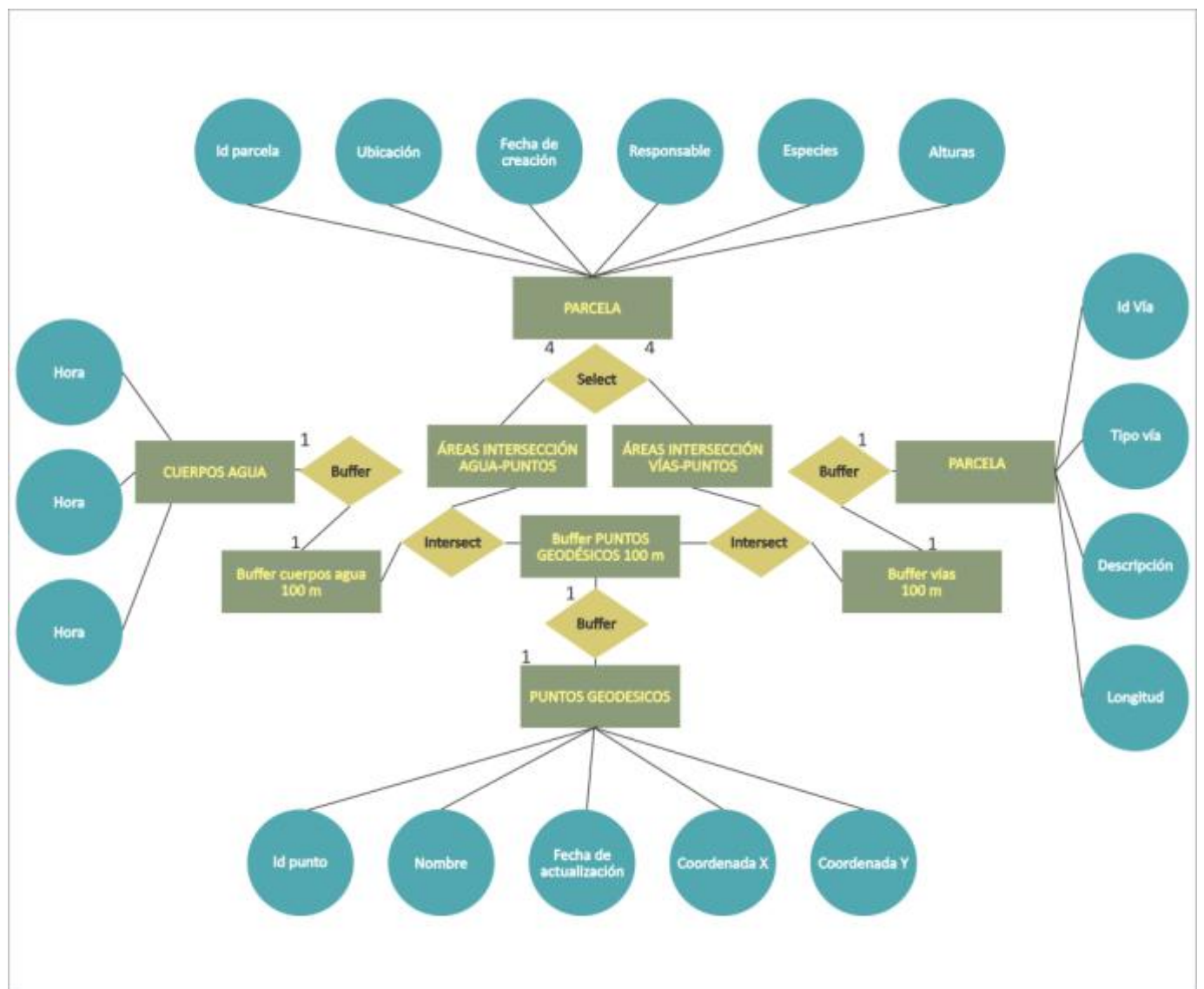


Figura 2: Modelo entidad relación, Fuente: Propia

# Implementación de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas (UAS)

como estrategia en la gestión de Bosques Urbanos en Bogotá, Colombia

Una vez establecidas las parcelas se realiza la medición de alturas con el instrumento convencional (hipsómetro digital) y se realiza la captura de fotografías con el UAS previo alistamiento (ver figura 3), programando la ruta a través del software Pix4D, teniendo como variables, 1. Altura de vuelo (metros): 40, 60, 80, 100 y 120; 2. Resolución de cámara (megapíxeles): 12 y 20.

El proyecto espera hallar el error promedio asociado a la medición de alturas de árboles con fotogrametría de Drones, en arboles aislados de más de 15 metros de altura inicialmente, así como Incentivar el desarrollo de nuevas metodologías de inventario forestal a través de nuevas tecnologías emergentes, más económicos y eficientes, validadas y aceptadas por el IGAC.

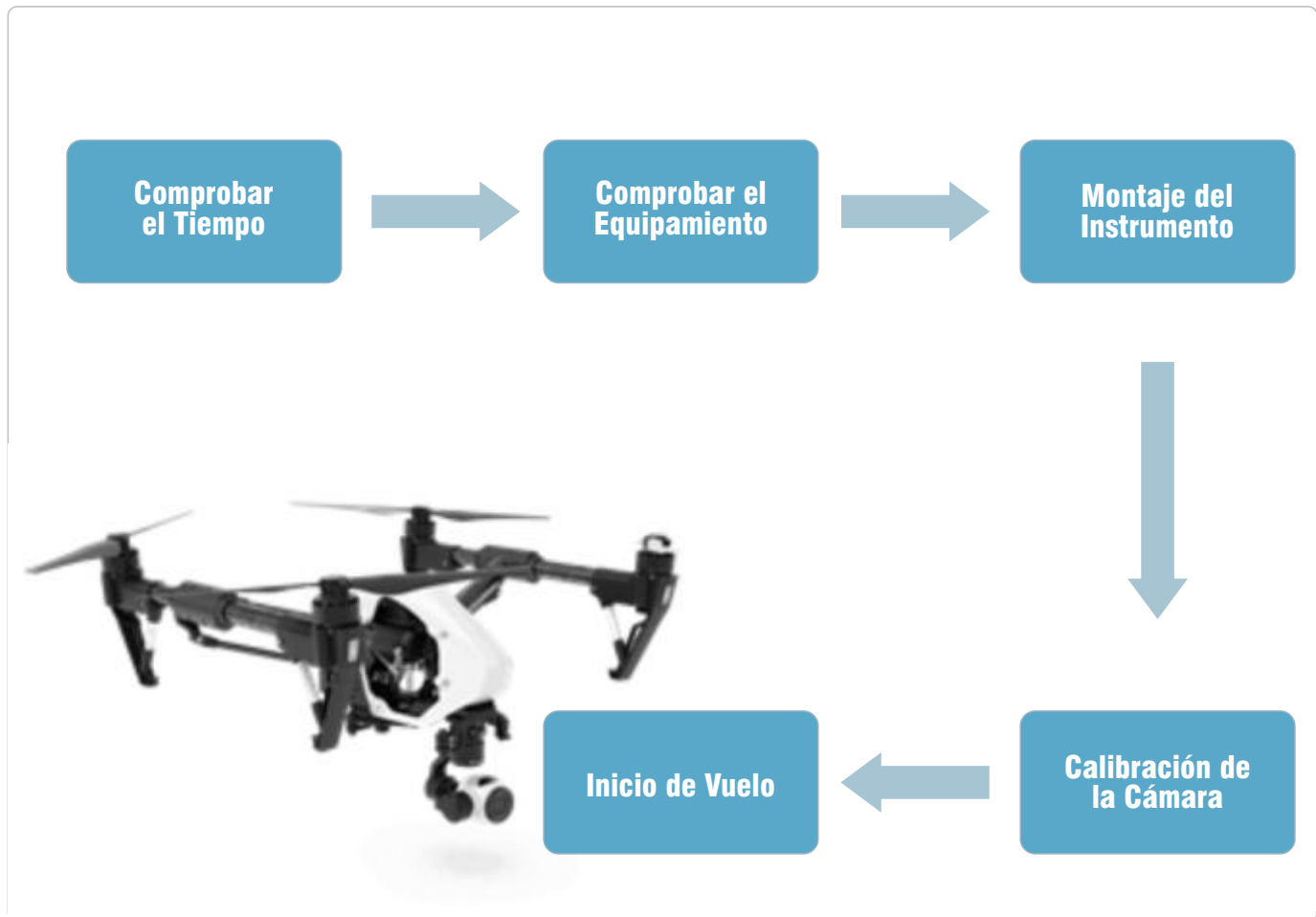


Figura 3: Ruta de proceso para alistamiento de vuelo con Dron.

Alternamente el SENA se encuentra en proceso de desarrollo del proyecto "Aplicación de fotogrametría con UAS para la generación de modelos 3D en especies arbóreas paisajísticas", incorporando texturas realistas de especímenes arbóreos y la posterior creación de objetos aplicables en formato .OBJ, .3DS, o .DFX, .JPG y .PNG para la etapa de diseño, presentación de proyecto e implementación de proyectos arquitectónicos y urbanísticos, a partir de especies forestales nativas colombianas paisajísticas e introducidas.

El proceso básicamente consiste según (Cheng, 2017) en la toma de fotografías con Dron en formato .RAW que posee un mayor detalle que las imágenes .JPG, post procesadas en el software Agisoft Metashape, el cual se encarga de 1. Orientar las imágenes, 2. Generar la nube de puntos, 3. Crear la malla, 4. Generar la textura (ver figura 4) y finalmente después de una limpieza general de elementos no deseados se exporta en cualquiera de los formatos anteriormente mencionados.



Figura 4: Modelo 3D de árbol con textura, generado a partir de fotogrametría con drones en el software Agisoft Metashape. Fuente: Propia

Los desarrollos están siendo incorporados en la plataforma de FITOTECTURA (ver figura 5), proyecto desarrollado por el SENA regional Caldas en el año 2017, denominado “*Desarrollo de Matriz de fitotectura en Manizales como Foco de Desarrollo y Sostenibilidad Ambiental*”, el cual contempla la inclusión de elementos verdes que dinamicen los espacios y que apunten a la preservación ambiental del medio son necesarias en esta densificación. Para la vegetación debe ser caracterizada según su taxonomía, funcionalidad y morfología para implementarla en los proyectos de infraestructura. No solo se contempla un componente estético, se debe definir una funcionalidad técnica como elementos de definición de ruta, mitigación de olores, barreras acústicas, estabilización de terrenos, etc.

Medellín como referente nacional en sus planes de infraestructura cuenta con manuales que permiten determinar la vegetación óptima para sus proyectos. Trascender a los actores directos de la construcción (empresas constructoras y profesionales de la arquitectura, ingeniería y construcción). Proyectos urbanísticos y arquitectónicos con una apropiada asignación de la infraestructura verde. AL Portal Web (ver figura 5) se puede acceder a través del siguiente link: <http://www.fitotectura.grindda.com/>.

El portal contiene información de 200 especies de arbustos y árboles, clasificados según su requerimiento en campo y al potencial de la especie, a través de una plataforma intuitiva y fácil de usar.





Figura 5: Portal web de fitotectura desarrollado por el SENA

## Discusión

En la actualidad la implementación de UAS como herramienta tecnológica para la gestión de bosques urbanos es muy incipiente, sin embargo, se soporta en los Sistemas de Información Geográfico (SIG), que han sido ampliamente tratados en investigaciones, e implementados por empresas para realizar seguimientos a plantaciones forestales comerciales en diferentes partes del mundo.

Desafortunadamente los SIG son trabajados a una escala muy grande, y las fotografías satelitales que se pueden adquirir en el mercado con alta resolución espacial son demasiado costosas para llevar a cabo la actualización del inventario forestal de las ciudades, ya que para el caso de Bogotá son diferentes entidades tanto públicas como privadas las encargadas de su actualización según decreto 383 de 2018. Por otro lado, las condiciones climáticas de nubosidad de nuestro país son generalmente un impedimento, como también lo reporta (Fuentes, 2017) en estudios de cuencas sobre el Valle del Cauca, Colombia. Por tal razón implementar sensores más próximos a la tierra es más práctico. Hoy en día los Drones están al alcance de todos y existen innumerables casas comerciales, lo que facilita su adquisición, pero también requiere la implementación de mayores regulaciones para su uso, así como de la estandarización de las mediciones asociadas a estos.

Lo anterior abre la posibilidad de implementar tecnologías como la UAS, más económicas, que permiten trabajar a escalas menores, con software de post-procesamiento de bajo costo, en comparación con los SIG y que al avanzar en la identificación del error de medición asociado a esta tecnología se tendrá un mejor nivel de confianza y certeza de la información, aunque (Espinoza, 2018) reporta trabajos con ambas tecnologías como complementarias para el caso de la gestión forestal urbana en Brasil. Si bien las

técnicas de fotogrametría proporcionan eficiencia y una mayor seguridad, Díaz (2015) opina que se ha cuestionado la precisión de estas medidas planimétricas sin base argumentativa.

Un ejemplo claro es el conteo e Inventario de árboles o monitoreo como lo reporta (Torres, 2018), el cálculo de volumen de copa y el cálculo de altura de los árboles. Siendo las 2 primeras realizables con SIG a través de fotografía satelital de alta resolución espacial, pero con costos asociados muy altos, por otro lado, el cálculo de altura de los árboles es más complejo, estudiado en escalas mayores como edificios a través de SIG, como lo reporta (Zavala y Zavala, 2002) se calcula las alturas a través de sombras proyectadas, pero que para los árboles que poseen alturas no superiores a los 30 metros se tendría que usar fotografía satelital con pixel inferior a los 50 cm, lo cual sería muy costoso para cada una de las entidades, ya que deben reportar al SIGAU la actualización correspondiente a cada mantenimiento de árbol realizado en la ciudad.

## Conclusiones

El desarrollo de nuevas tecnologías como las UAS, permitirán incorporar nuevas metodologías en la realización de inventarios forestales una vez se estandaricen los procedimientos y errores de medición asociados a las diferentes variables de medición, agilizando el trabajo en campo que tradicionalmente se viene realizando árbol por árbol con más de un equipo para cada variable a considerar como la altura del árbol, el diámetro del fuste o el volumen de la copa, requiriendo el uso de hipsómetro, cinta diamétrica y decámetros respectivamente. Variables que un solo equipo UAS puede tomar con mayor cobertura, menor tiempo y menor cantidad de operarios. Esto permitirá reducir los tiempos de inventario, así como los costos asociados al mismo.

La normativa actual colombiana viene avanzando rápidamente en la regulación del uso de UAS, así como cada día se incorporan más centros de formación de pilotos de Drones certificados por la Aeronáutica Civil de Colombia, esto permitirá generar más confianza en la implementación de la tecnología y sus aplicaciones en el mercado.

En Colombia la gestión de bosques urbanos en ciudades como Bogotá, requiere de la creación de una plataforma SIG que permita gestionar el recurso, así como una actualización constante que permita asignar las respon-

sabilidades a entidades para reducir la carga del estado en el mantenimiento de los mismos, esto de la mano de una política clara y normativa que permita sentar una base jurídica para evitar la evasión de responsabilidades por parte de las entidades.

La información técnica de las especies forestales para la implementación en proyectos de arquitectura y urbanísticos, debe ser de libre acceso y socializadas con las diferentes entidades de educación y formación. Esto tendrá un impacto directo en los futuros gestores de proyectos y facilitará la gestión de bosques urbanos, al implementar las especies correctas en los espacios correctos.

### Notas

Este artículo se deriva de la recopilación de resultados de los proyectos de investigación aplicada desarrollados por el SENA y corresponde al autor Juan Francisco Guzmán Zabala.

### Bibliografía

- Aeronáutica Civil de Colombia. (2015). Circular reglamentaria n.º 002: Requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (numeral 4.25.8.2). Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPAS.pdf>.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2018). DECRETO 383 DE JULIO 12 DE 2018. Recuperado 10 de abril de 2019, de <http://legal.legis.com.co/>
- Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI. (2015). Vehículos aéreos no tripulados, drones y sus sistemas de comunicación. Superintendencia de Industria y Comercio. Recuperado de [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/publicaciones/Boletines/Drones.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/publicaciones/Boletines/Drones.pdf)
- Cheng, E. (2017). Fotografía aérea con drones. Madrid, España: Anaya Multimedia
- Díaz, C. J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. (Tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de [http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- Espinoza, J. O. (2018). Building resilience and sustainable cities: Diagnosis for the implementation of PMMA in the municipality of Foz de Iguazú, PR – Brazil. Mantova, Canada. Recuperado de <https://www.wfuf2018.com/public/file/WFUFBookofAbstracts-26025.pdf>
- Fuentes, G. A. (2017). Generación de mapa de áreas inundables mediante SIG en la cuenca baja del río anchicayá valle del cauca (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- García, D. (2010). Estimación de variables de interés comercial basada en datos ILIDAR en el monte número 117 del C.U.P. término Municipal de Cuenca. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de [http://oa.upm.es/6171/2/PFC\\_DAVID\\_GARCIA\\_GARCIA\\_TEXTO.pdf](http://oa.upm.es/6171/2/PFC_DAVID_GARCIA_GARCIA_TEXTO.pdf)
- Ibáñez, Ingrid Vannesa, Andrade Álvarez, A. X., Loaiza Jiménez, C. M., Barreto Reyes, R. N., Paternina Martínez, J. M., & Buitrago Barreto, H. (2019). Generalidades, caracterización e implementación de aeronaves remotamente tripuladas para levanta-miento topográfico. Recuperado de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5188>
- Ideas Medioambientales. (2016). Planes de Gestión del Arbolado Urbano: Regeneración ambiental. Recuperado de <https://ideasmedioambientales.com/planes-de-gestion-del-arbolado-urbano/>
- INCAE. (2017). Tecnología Exponencial y la Sociedad 2.0. Recuperado de [http://comunidadilgo.org/back/\\_lib/file/doc/Tecnologias\\_Exponenciales\\_ILGO.pdf](http://comunidadilgo.org/back/_lib/file/doc/Tecnologias_Exponenciales_ILGO.pdf)
- Ramírez, J. M. (2015). Aspectos reglamentarios. En Consejería de Economía y Hacienda (Eds.). Los drones y su aplicación en la ingeniería civil, 33-48. Madrid, España: Arias Montano S.A.
- Pereira, A. A., Espada, J. P., Crespo, R. G., & Aguilar, S. R. (2019). Platform for controlling and getting data from network connected drones in indoor environments. Future Generation Computer Systems, 92, 656-662. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.011>
- Putch, A. (2017). Linear Measurement Accuracy of DJI Drone Platforms and Photogrammetry. Informe técnico de DroneDeploy. Recuperado de [https://prismic-io.s3.amazonaws.com/dronedeploy-www%2F46e720cd-fb03-41ec-a6a3-09b424d674b8\\_linear+measurement+accuracy+of+dji+drone+platforms+and+cloud-based+photogrammetry-v11.pdf](https://prismic-io.s3.amazonaws.com/dronedeploy-www%2F46e720cd-fb03-41ec-a6a3-09b424d674b8_linear+measurement+accuracy+of+dji+drone+platforms+and+cloud-based+photogrammetry-v11.pdf)
- Saha, H., et al. (2018). A low cost fully autonomous GPS (Global Positioning System) based quad copter for disaster management: 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). Las Vegas, NV, pp. 654-660. DOI: 10.1109/CCWC.2018.8301782
- Salazar, H. F., Serna, J. E., y Tamayo, J. A. (2017). Matriz de fitotectura en Caldas. Manizales: Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Torres, C. W., Morton, D. C., Martinuzzi, S., Cook, B. D., Paynter, I. L., Serbin, S. P. & Castro, Aurelio. (2018). Understanding post-hurricane tree damages at the Arboretum Doña Inés Park, an urban forest in San Juan, Puerto Rico. Mantova, Canada. Recuperado de <https://www.wfuf2018.com/public/file/WFUFBookofAbstracts-26025.pdf>
- UPM, O. (2010). Ingeniería cartográfica, geodésica y fotogrametría. OCW UPM - Open Course Ware de la Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://ocw.upm.es/ingenieriacartografica-geodesica-y-fotogrametria>.
- Zabala, J. F. G., Paternina, J. M., & Cárdenas, J. A. R. (2018). Estudio comparativo de Aplicaciones Móviles (APP), en el error de medición con Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA). Ciencia y Poder Aéreo, 13(2), 78-88. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.603>
- Zavala, P. y Zavala, C. (2002). Uso de imágenes satelitales de alta resolución para generar cartografía. Revista Facultad de Ingeniería, 10(1), 35-43.