

## Obtención de información multiespectral georreferenciada de especies vegetales del Jardín Botánico de Bogotá mediante un sistema aéreo no tripulado

*Multispectral georeferenced information acquisition of vegetable species from Bogotá Botanic Garden using an unmanned aerial system*

Jorge Luis Rodríguez<sup>1</sup>, Iván Lizarazo<sup>2</sup>

“Cómo citar este artículo: Rodríguez, J. L. y Lizarazo, I. (2017). Obtención de información multiespectral georreferenciada de especies vegetales del Jardín Botánico de Bogotá mediante un sistema aéreo no tripulado. *Análisis Geográficos*, 52, 75-89.

### Resumen

En este trabajo se presenta la caracterización espectral de seis especies vegetales de interés para el arbolado urbano de Bogotá mediante un sistema aéreo no tripulado (UAS) de bajo costo. Para ello, se ensambló un hexacóptero FH-H800 dotado de controlador Pixhawk y capacidad para realizar vuelos autónomos. Se utilizaron dos cámaras estándar Canon A2300, una de ellas modificada manualmente para permitir la captura de datos en el rango infrarrojo cercano.

Se realizó la planeación de vuelos fotogramétricos a una altura de 120 m sobre el terreno con el objeto de cubrir el área del Jardín Botánico mediante dos vuelos de diez minutos cada uno. Se obtuvieron aproximadamente trescientas imágenes con tamaño de pixel de 0,10 m cubriendo los tres canales del espectro visible (B, G, R) y el canal infrarrojo cercano (NIR). Las imágenes se corrigieron mediante un proceso fotogramétrico basado en estructura a partir de movimiento (SfM) y estéreo correspondencia (MVS) usando software de código abierto, que permitió obtener un modelo digital de superficie (DSM) y elaborar ortofotomosaicos multiespectrales (4 bandas) con exactitud de posición horizontal de 1,20 m para el 90 % de los datos. A partir de los ortofotomosaicos, se realizó la identificación y la caracterización de la respuesta espectral de las siguientes especies vegetales: magnolio (*Magnolia grandiflora*), carbonero (*Calliandra trinervia*), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), roble (*Quercus humboldtii*), pino colombiano (*Podocarpus oleifolius*) y sangregao (*Croton funckianus*). Los resultados indicaron que la banda del infrarrojo cercano es esencial para realizar la diferenciación de estas especies vegetales. Este trabajo demuestra el potencial de los sistemas aéreos no tripulados para realizar caracterización y monitoreo de vegetación natural o cultivada de una manera económica y rápida.

**Palabras clave:** percepción remota, fotogrametría, UAS, UAV, multiespectral.

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo: jorlrodriguez@correo.udistrital.edu.co

<sup>2</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo: ilizarazo@udistrital.edu.co



## **Abstract**

*In this paper presents the spectral characterization of six plant species of interest to the urban trees of Bogotá by a low-cost unmanned aerial system (UAS). For this purpose a hexacopter FH-H800 equipped with PixHawk driver and autonomous flight capacity was assembled. Two standard cameras Canon A2300, one manually modified to allow data capture in the near infrared range was used. The photogrammetric flight planning was made for an altitude of 120 m above the ground in order to cover the area of the Botanical Garden by two flights of ten minutes each one. There were obtained approx. three hundred images with pixel size of 0.10 m covering the three channels of the visible spectrum (B, G, R) channel and the near infrared (NIR). The images were corrected by a photogrammetric process based on structure from motion (SFM) and stereo correspondence (MVS) using open source software that yielded a digital surface model (DSM) and develop multispectral orthofothomosaics (4 bands) with accurately horizontal position of 1.20 m for 90% of the data. From the orthomosaics, identification and characterization of the spectral response of the following plant species was conducted: magnolia (*Magnolia grandiflora*), carbonero (*Calliandra trinervia*), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), roble (*Quercus humboldtii*), pino colombiano (*Podocarpus oleifolius*) y sangregao (*Croton funckianus*). The results indicated that the near-infrared band is essential for the differentiation of these plant species. This work demonstrates the potential of UAS for fast and economical characterization and monitoring of natural or cultivated vegetation.*

**Keywords:** Remote Sensing, Photogrammetry, UAS, UAV, Multispectral.



## Introducción

Colombia es uno de los países con mayor diversidad biológica del mundo, con cerca de 40 000 especies de plantas vasculares registradas (Samper, Gómez Mejía & Wyse-Jackson, 2002). Esta gran diversidad significa también que debe hacerse un gran esfuerzo para su conservación, tarea que el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis realiza mediante sus programas de investigación y conservación. Por ello, el objetivo del trabajo fue georreferenciar y realizar la caracterización espectral de seis especies vegetales de interés del Jardín Botánico José Celestino Mutis de Bogotá mediante la utilización de un sistema de percepción remota no tripulado.

En la actualidad, hay gran interés en el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por la sigla en inglés de *Unmanned Aerial Vehicle*) en diversas actividades, entre ellas, la adquisición de información en percepción remota, debido a la capacidad de obtener información de una muy alta resolución espacial (Turner, Lucieer & Watson, 2012) y temporal (Laliberte *et al.*, 2011), dado su fácil despliegue y el bajo costo de operación.

El uso de los UAV permite la obtención de información espacial en periodos cortos de tiempo a bajos costos, por lo cual son ideales para trabajos que requieran de actualización continua (D'Oleire-Oltmanns *et al.*, 2012).

El uso de información en el rango visible e infrarrojo para seguimiento de vegetación es teóricamente superior que disponer

solamente del rango visible, debido al gran contraste entre la reflexión de la vegetación en el rango infrarrojo y en el rango visible, la alta correlación de las tres bandas del visible y las posibilidades de usar índices espectrales, como el de vegetación de diferencia normalizada o NDVI, por la sigla en inglés de *normalized difference vegetation index* (Nijland *et al.*, 2014).

## Materiales y métodos

Para el desarrollo de la plataforma aérea del sistema de percepción remota se propuso la utilización de un UAV de despegue y aterrizaje vertical, ya que este tipo de vehículos permiten mejor control y mayor maniobrabilidad en entornos de difícil acceso. El tipo de vehículo seleccionado fue un hexacóptero (figura 1), debido a su estabilidad y capacidad de carga.

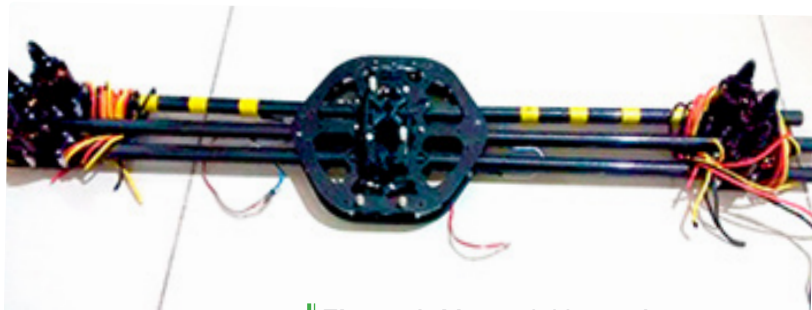


Figura 1. Marco del hexacóptero  
Fuente: propia del proyecto.

Para el control asistido del UAV se eligió el controlador Pixhawk (figura 2) producido por 3D Robotics, diseñado para su uso en multirrotores, aviones, helicópteros y carros. En el caso de los multirrotores, soporta varios tipos de marcos, entre ellos, tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros. El piloto automático se compone de un controlador principal que tiene un sistema IMU y brújula integrada, un módulo de poder que soporta baterías



LiPo desde dos celdas (2s) hasta cuatro celdas (4s), un receptor GPS y brújula, que tiene también IMU, y un led que brinda información visual del estado del UAV.



Figura 2. Controlador Pixhawk  
Fuente: propia del proyecto.

Con el controlador Pixhawk es posible tener acceso a los datos de posicionamiento satelital e IMU, ya que el sistema guarda automáticamente todos los datos del estado del equipo durante cada vuelo. Igualmente, estos datos son transmitidos a la estación de tierra, donde pueden ser monitorizados en tiempo real.

Para la adquisición de imágenes multiespectrales se utilizaron dos cámaras Canon A2300. A una de ellas se le eliminó el filtro RGB (figura 3), que bloquea el paso de información fuera del espectro visible, con el fin de permitir el ingreso de información en el rango del infrarrojo.

El proyecto fue desarrollado en el Jardín Botánico José Celestino Mutis de Bogotá (figura 4). Se realizó la planeación de vuelos fotogramétricos de modo que se pudiera cubrir el área del Jardín Botánico

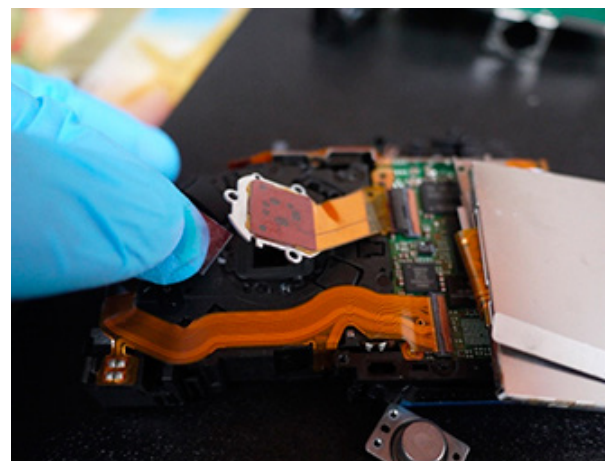


Figura 3. Remoción del filtro RGB  
Fuente: propia del proyecto.

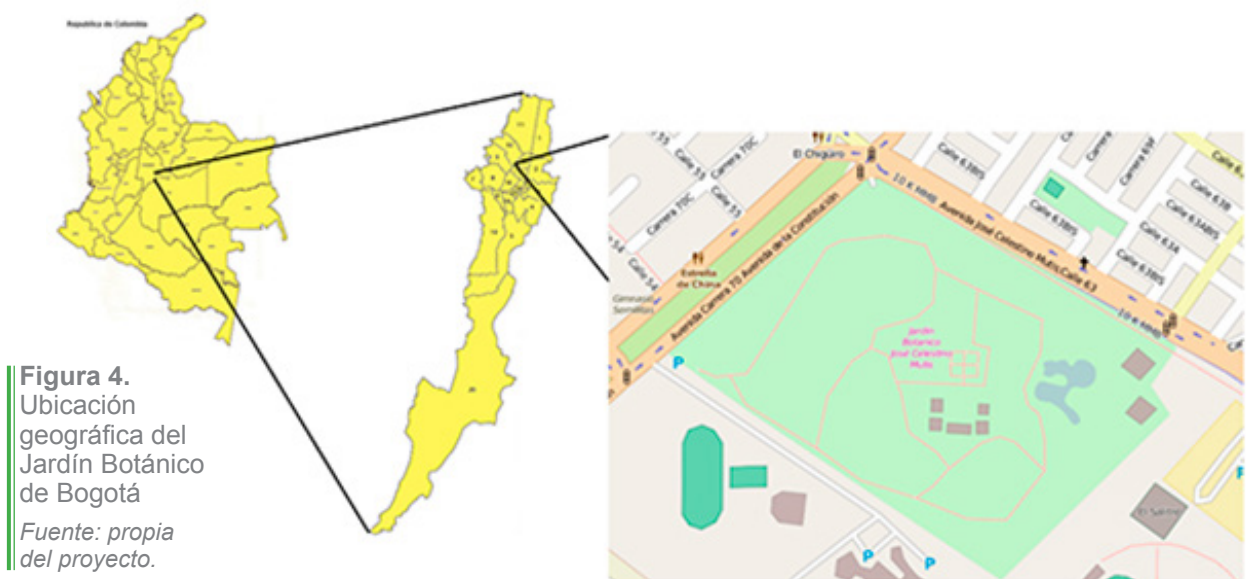
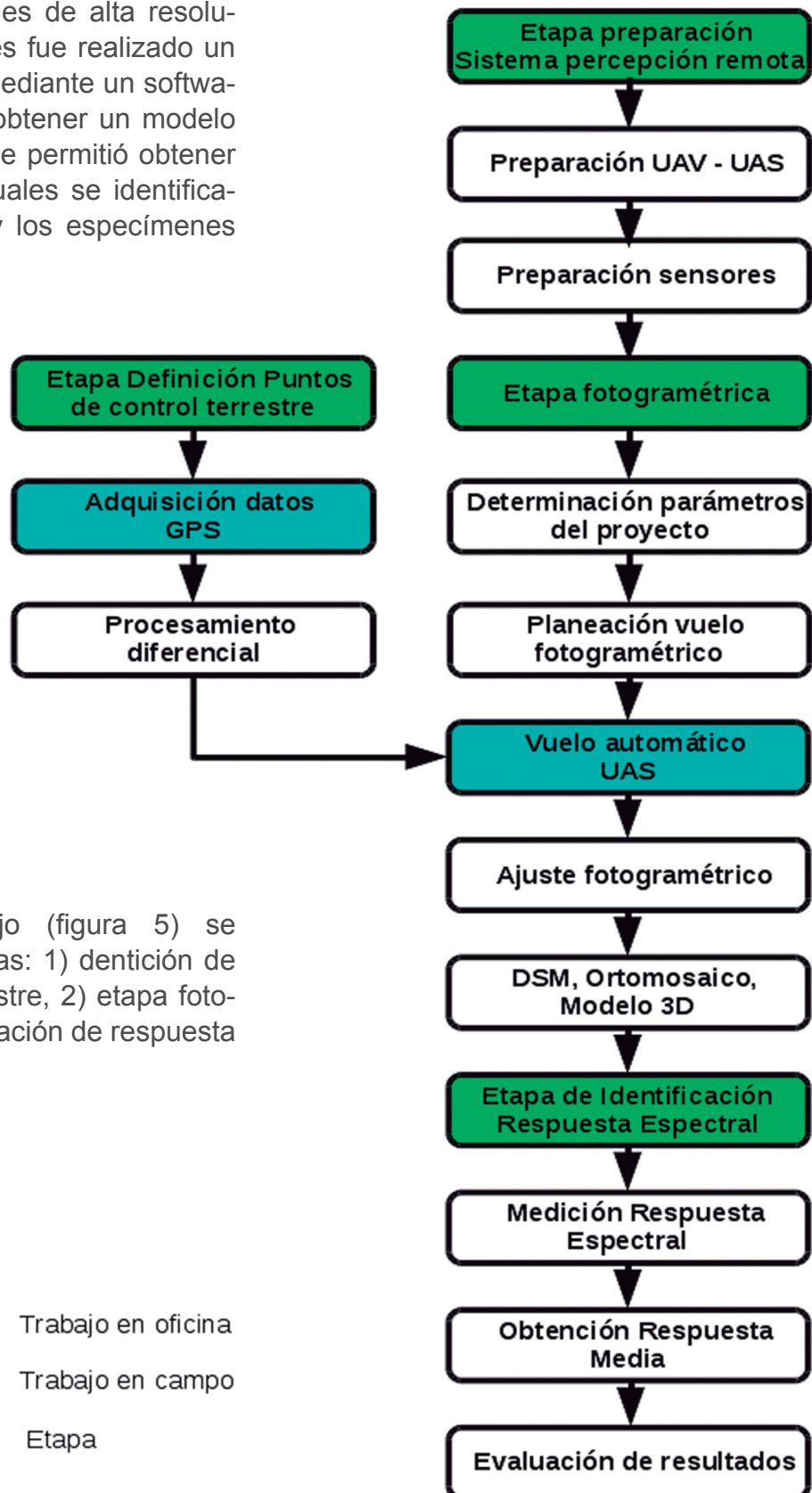


Figura 4. Ubicación geográfica del Jardín Botánico de Bogotá  
Fuente: propia del proyecto.

con suficientes imágenes de alta resolución. A las imágenes les fue realizado un ajuste fotogramétrico mediante un software especializado para obtener un modelo digital de superficie, que permitió obtener ortomosaicos en los cuales se identificaron las comunidades y los especímenes vegetales.



El método de trabajo (figura 5) se desarrolló en tres etapas: 1) definición de puntos de control terrestre, 2) etapa fotogramétrica y 3) identificación de respuesta espectral.

- Trabajo en oficina
- Trabajo en campo
- Etapa

**Figura 5.** Metodología del proyecto  
 Fuente: elaboración de los autores.





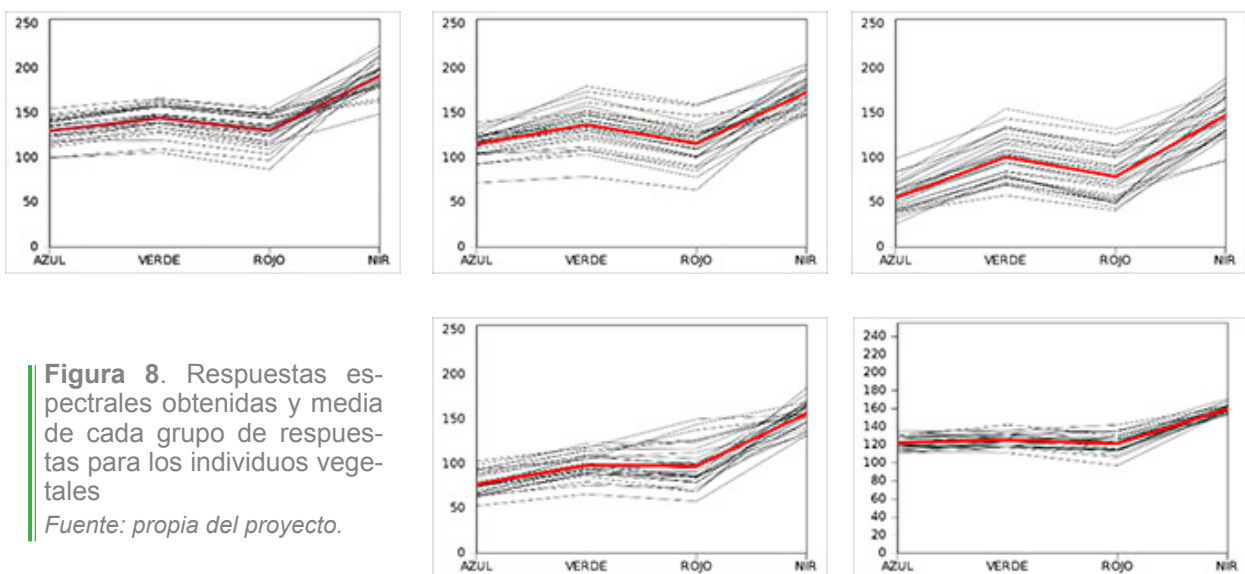


**Figura 7.** Planes de vuelo  
 Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Google Maps, 2015.

El ajuste fotogramétrico se realizó mediante el software Agisoft PhotoScan, ya que permite al usuario familiarizarse con las funciones que brinda y realizar el ajuste de los bloques de imágenes.

Para la identificación de las respuestas espectrales (figura 8), una vez hecho el ajuste fotogramétrico de los dos bloques de imágenes, se realizó la separación en

6 bandas, 3 para el mosaico RGB y 3 para el mosaico en infrarrojo. Después de obtener estas bandas se realizó una composición mediante el software GRASS GIS utilizando la banda roja de la cámara infrarroja, la cual contiene la mayoría de la información del infrarrojo y las bandas roja, verde y azul de la cámara RGB. Para cada individuo se identificaron 30 respuestas espectrales, para las cuales se halló la media.



**Figura 8.** Respuestas espectrales obtenidas y media de cada grupo de respuestas para los individuos vegetales  
 Fuente: propia del proyecto.



## Resultados y discusión

Se obtuvo un sistema aéreo no tripulado de percepción remota, con capacidad de navegación autónoma, semiautónoma y manual, del cual se pudieron obtener los datos GPS-INS para la geolocalización y la orientación automática de las imágenes adquiridas durante los vuelos realizados sobre el Jardín Botánico de Bogotá. El sistema está equipado con dos cámaras: una estándar, que captura información en el rango visible, y una capaz de adquirir información en el rango del infrarrojo.

El sistema está conformado por dos segmentos: el segmento aéreo está integrado por el vehículo, sus sistemas de navegación, comunicaciones y los sensores llevados a bordo, y el segmento terrestre, compuesto por un equipo de cómputo, en el cual se tiene el software de control del UAV, un sistema de comunicación que brinda telemetría en tiempo real y un sistema de radio que permite el control manual

del aparato en caso de ser necesario (figura 9).

En el UAV, las cámaras se encuentran orientadas en la misma dirección (figura 10), sobre una plataforma que no es giroestabilizada para conservar la alineación con los sensores inerciales del vehículo.



Figura 10. Soporte para las cámaras  
Fuente: propia del proyecto.

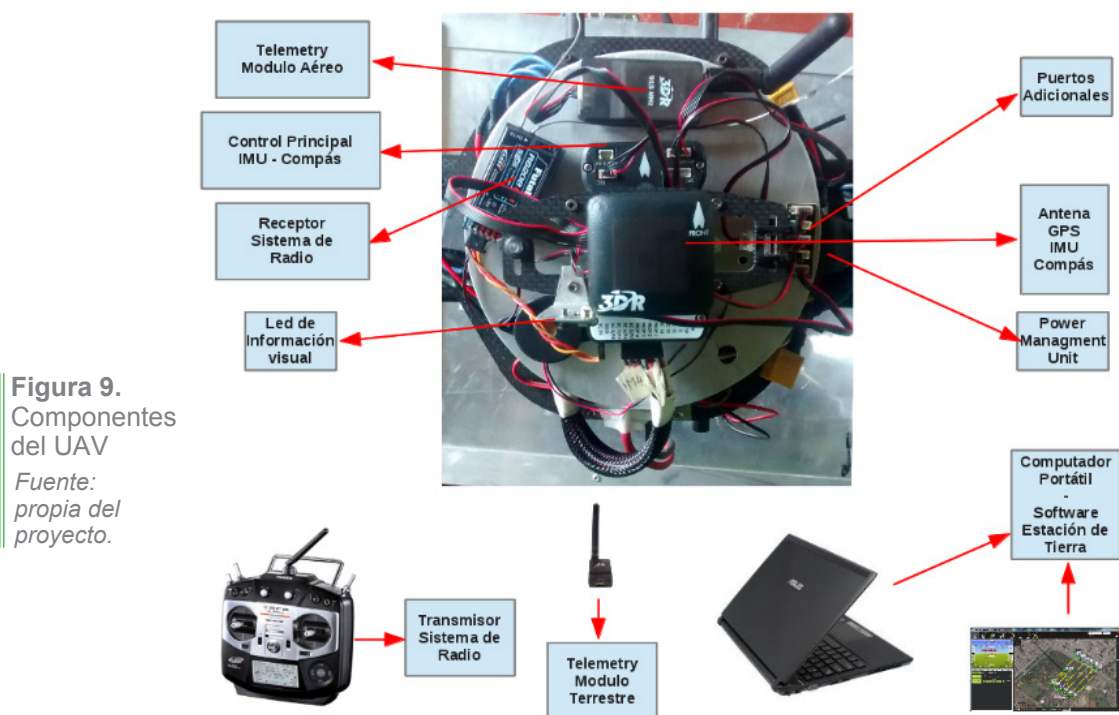
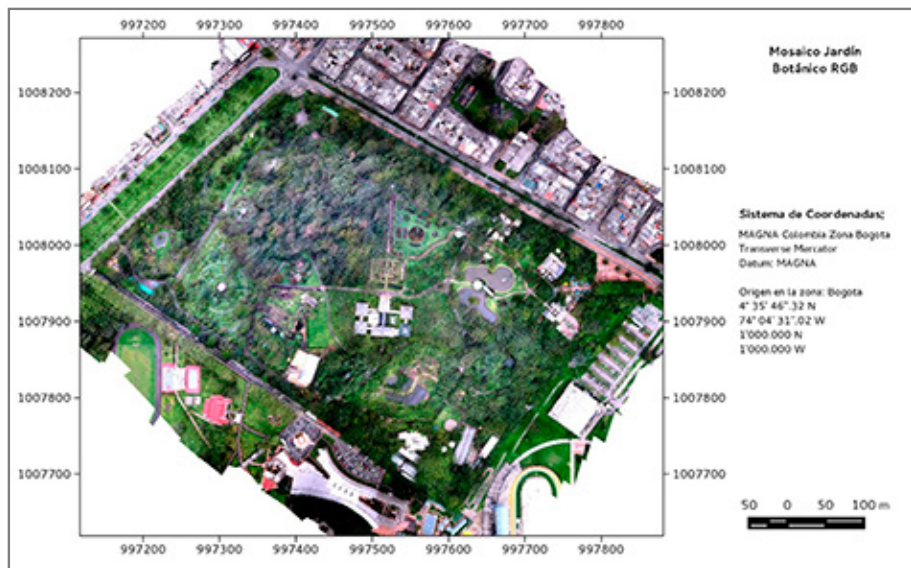
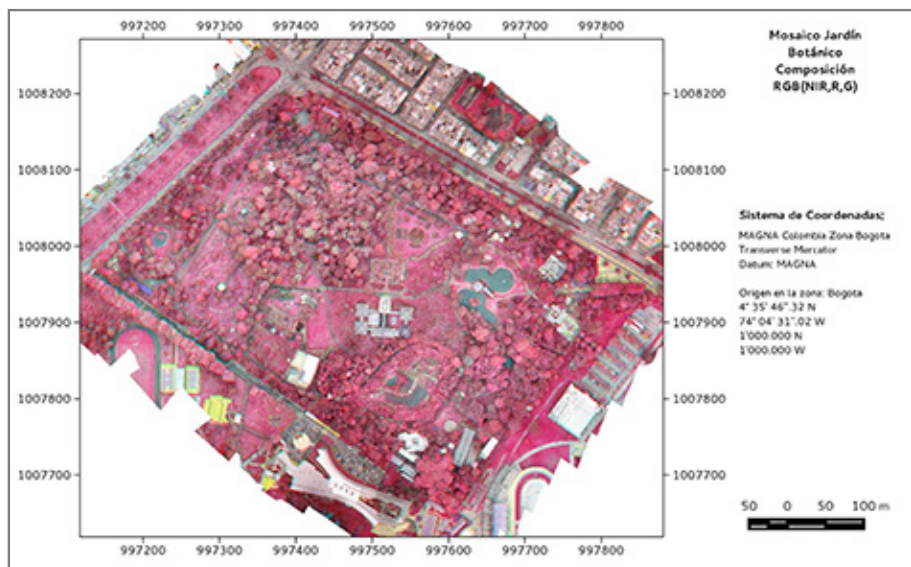


Figura 9. Componentes del UAV  
Fuente: propia del proyecto.



**Figura 11.** Mosaico Jardín Botánico, composición RGB (R, G, B)  
 Fuente: propia del proyecto.



**Figura 12.** Mosaico Jardín Botánico, composición RGB (NIR, R, G)  
 Fuente: propia del proyecto.

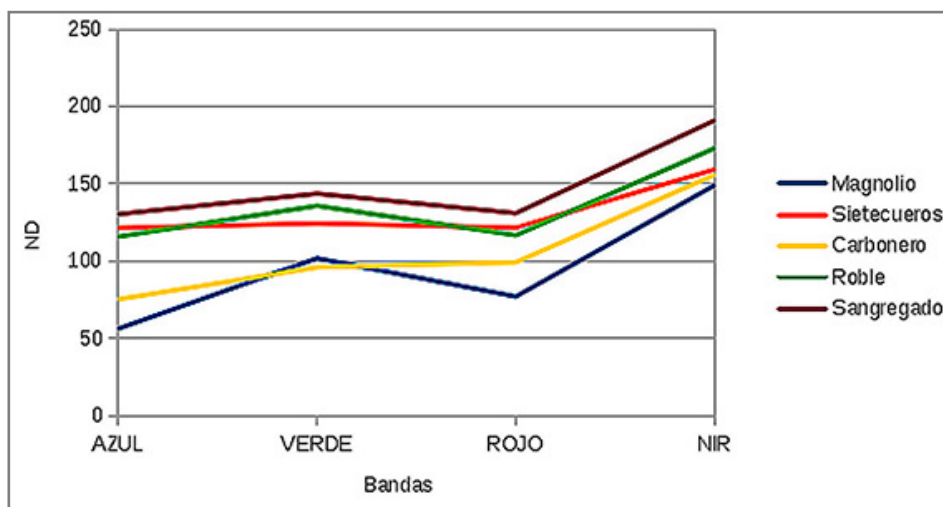
Con la realización de los vuelos fotogramétricos con el UAV se obtuvieron 173 imágenes en color natural para el primer vuelo y 153 para el segundo. En infrarrojo, se adquirieron 142 imágenes para el primer vuelo y 141 para el segundo.

Mediante el ajuste fotogramétrico de los bloques de imágenes se obtuvieron cuatro bandas espectrales: azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, a partir de las cuales se generaron composiciones en verdadero color (figura 11) y en falso color (figura 12).



A partir de los ortofotomosaicos, se realizó la identificación y la caracterización de la respuesta espectral de las siguientes especies vegetales: magnolio, carbonero, sietecueros, roble, pino colombiano y sangregao. Estas respuestas, expresadas en términos de niveles digitales, se muestran en la figura 13.

En la figura 14 se muestran las rutas recorridas por el UAV en los dos vuelos realizados. Estas rutas fueron recreadas utilizando los datos de navegación del equipo, y muestran que el plan de vuelo fue seguido por el vehículo de acuerdo con los planes de vuelo generados.



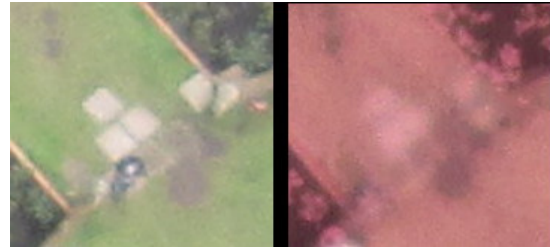
**Figura 13.** Respuestas espectrales para las cinco especies vegetales  
Fuente: propia del proyecto.



**Figura 14.** Rutas recorridas por el UAV  
Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Google Earth, 2015.

Algunas de las imágenes capturadas durante el vuelo quedaron borrosas, razón por la cual fueron eliminadas del proceso de ajuste fotogramétrico para evitar la introducción de errores en la alineación de los bloques de imágenes. Este problema se presentó con mayor frecuencia en las imágenes obtenidas con la cámara modificada para capturar infrarrojo. Adicionalmente, se observó que la modificación de la cámara degrada la calidad de la imagen, como se ve en la figura 15, donde se muestran dos imágenes de la misma zona: en la imagen en RGB se pueden diferenciar claramente las baldosas de concreto y los bordes de los jardines, mientras que en la imagen en infrarrojo estos objetos se confunden con el pasto que se encuentra en la zona.

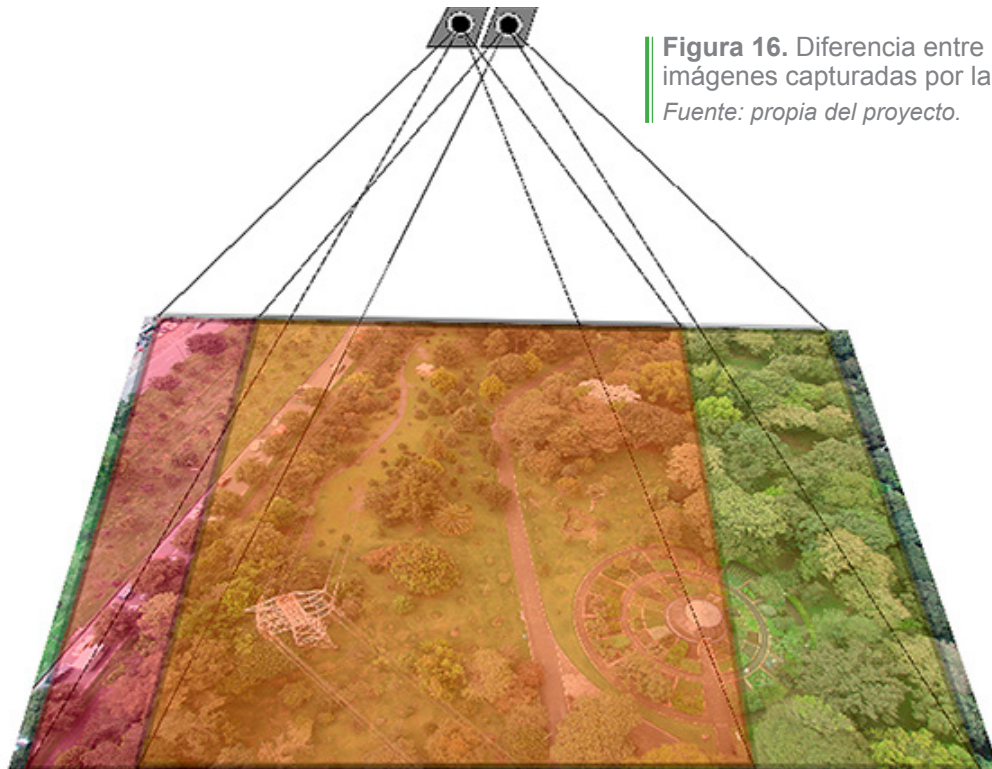
La utilización de dos cámaras diferentes para adquirir imágenes en el rango visible e infrarrojo genera diferencias en las áreas



**Figura 15.** Comparación imágenes capturadas con la cámara sin modificar y con la cámara modificada

*Fuente: propia del proyecto.*

que captura cada cámara, como se muestra en la figura 16. Esto puede ser ocasionado por varios factores: de una parte, debido a la distorsión del lente, propia de cada cámara, y, de otra, debido a que los sensores de estas se encuentran separados por aproximadamente 5 cm; además, por la diferencia en el tiempo de obturación de cada cámara.



**Figura 16.** Diferencia entre la cobertura de las imágenes capturadas por las cámaras

*Fuente: propia del proyecto.*

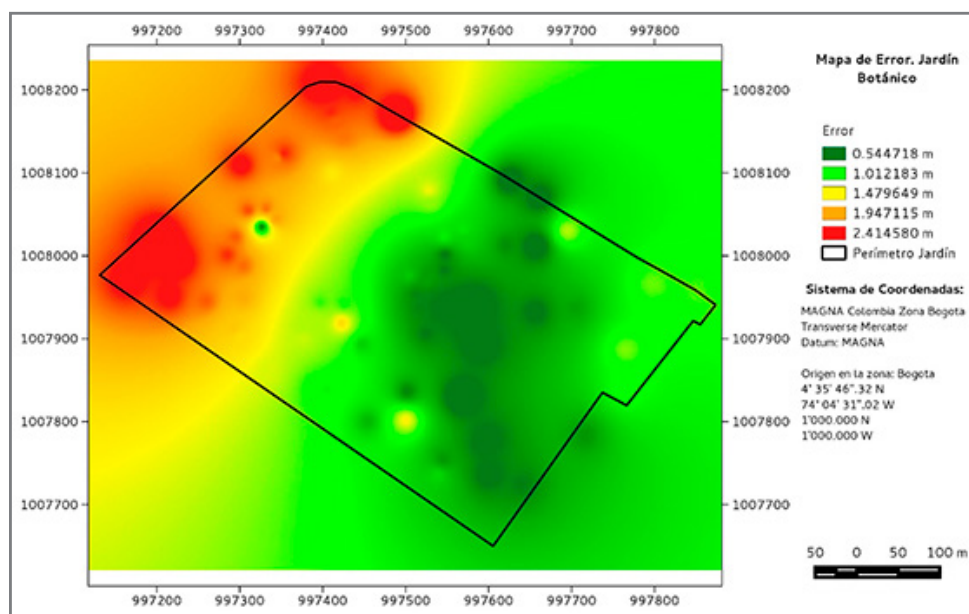


Esta diferencia en la cobertura de las imágenes dificulta el análisis de la respuesta espectral de las especies estudiadas directamente y agrega tiempo de trabajo al proceso de identificación de las respuestas espectrales.

El Jardín Botánico de Bogotá suministró un corte de la ortofoto digital de Bogotá de 2014 distribuida por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. Con esta ortofoto se hizo la validación de la exactitud en posición del ortomosaico obtenido de las imágenes capturadas por las cámaras a bordo del UAV. Se determinaron 80 puntos de muestreo que fueran fácilmente identificables en la ortofoto digital y en el mosaico obtenido del vuelo del UAV. La validación de la exactitud se centró en encontrar la distancia entre las coordenadas observadas en la ortofoto digital y el mosaico obtenido en el proyecto, lo cual arrojó una media de 1.265 m.

En la figura 17 se muestra la distribución espacial del error encontrado en el mosaico obtenido del UAV respecto a la ortofoto digital de Bogotá. En esta imagen se observa que el error es mayor hacia la parte occidental y se acentúa en las dos esquinas del mosaico. Un posible factor en este resultado puede ser la calidad de la información recolectada por los GPS en los puntos de control; en este sentido, los puntos ubicados en esta zona del Jardín Botánico se encontraban rodeados por árboles altos que posiblemente afectaron la calidad de la señal que llegaba a los receptores GPS.

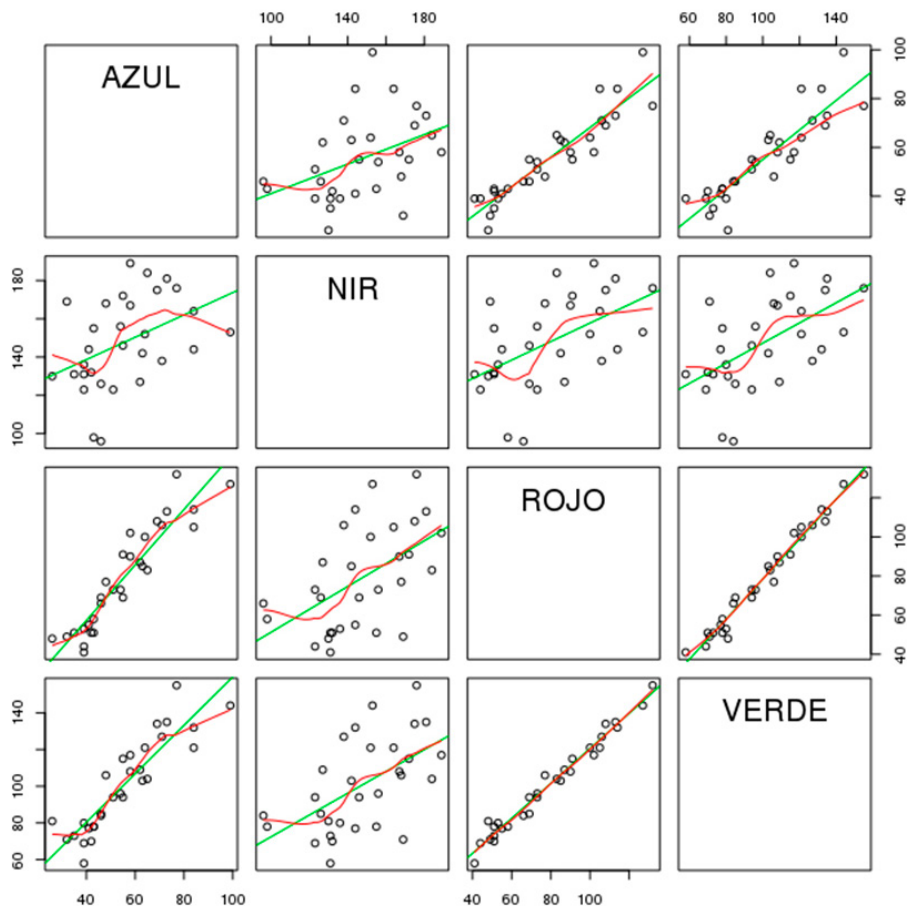
Esta validación brinda un marco de comparación de la exactitud posicional del mosaico obtenido; sin embargo, el error encontrado puede ser menor o mayor si se compara con otro tipo de información espacial, como un levantamiento topográfico, ya que según el reporte de calidad de la ortofoto digital de Bogotá, esta tiene una exactitud de 0,54 metros en XY.



**Figura 17.** Mapa de error del Jardín Botánico  
*Fuente: propia del proyecto.*

Las respuestas espectrales obtenidas durante el desarrollo del proyecto se han trabajado en términos de niveles digitales, sin embargo, se aprecia que dichas respuestas tienen un comportamiento similar al esperado con el uso de otro tipo de sensores: la vegetación en las bandas del visible tienen respuestas bajas, similares entre sí, con una mayor respuesta en la banda verde. En la banda del infrarrojo obtenida con la modificación de la cámara se observa una respuesta más alta que en las demás bandas, y esto concuerda con lo esperado al utilizar, por ejemplo, el radioespectrómetro.

En la figura 18 se observa una matriz de diagramas de dispersión entre las bandas espectrales obtenidas para el caso de la especie conocida con el nombre de carbonero. En esta matriz se evidencia que la banda del infrarrojo obtenida con la modificación de la cámara tiene una alta dispersión con respecto a las bandas del azul, el verde y el rojo, lo cual indica que no existe una dependencia lineal con estas bandas. Esto permite inferir que esta banda está brindando información diferente a la que se encuentra en las otras, cuya adquisición es posible solo por esta modificación.



**Figura 18.** Matriz de diagramas de dispersión para el carbonero  
 Fuente: propia del proyecto.



## Conclusiones

Se logró el ensamble de un sistema aéreo de percepción remota de bajo costo que permitió la realización de vuelos fotogramétricos autónomos, durante los cuales pudieron obtenerse simultáneamente imágenes en el rango visible y en el rango infrarrojo del espectro electromagnético mediante el uso de dos cámaras de bajo costo, una de ellas modificada para permitir el ingreso de información en el rango infrarrojo. La mayor ventaja del sistema fue que las imágenes adquiridas pudieron ser geoetiquetadas directamente en el software de la estación de tierra. Así mismo, los datos GPS-INS fueron exportados automáticamente a diferentes formatos de texto, como csv y txt, lo que permitió la orientación directa del sensor respecto a la tierra en el momento de la toma de las imágenes.

El uso de cámaras compactas que no han sido diseñadas para fotogrametría o percepción remota genera dificultades en el ajuste fotogramétrico, principalmente en las imágenes adquiridas con la cámara

modificada, ya que remover el filtro degrada la calidad de las imágenes que se adquieren.

Se realizó el ajuste fotogramétrico de 326 imágenes RGB y 283 imágenes en infrarrojo, correspondientes a los dos vuelos realizados sobre el Jardín Botánico de Bogotá, el cual permitió la generación de un modelo digital de superficie para la creación de dos ortomosaicos, uno en color RGB y otro en infrarrojo falso color.

Se realizó la identificación de la respuesta espectral de las especies vegetales: magnolio (*Magnolia grandiflora*), carbonero (*Calliandra trinervia*), sietecuecos (*Tibouchina lepidota*), roble (*Quercus humboldtii*) y sangregao (*Croton funkianus*). Esta identificación se realizó en términos de niveles digitales, lo que dificulta su comparación con otras fuentes de información. Sin embargo, es una aproximación que indica que la modificación de la cámara permite efectivamente obtener información nueva que puede ser de utilidad en diferentes procesos.



## Bibliografía

---

---

- D'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. & Ries, J. (2012, 9). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(12), 3390-3416. doi:10.3390/rs4113390.
- Eisenbeiß, H. (2009). *UAV Photogrammetry* (tesis de doctorado). University of Technology, Dresden, Alemania. Recuperado de [http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue\\_Berichte\\_PDF/105.pdf](http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf).
- Laliberte, A. S., Goforth, M. A., Steele, C. M. & Rango, A. (2011). Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. *Remote Sensing*, 3(11), 2529-2551. doi:10.3390/rs3112529.
- Nijland, W., De Jong, R., De Jong, S., Wulder, M., Bater, C. & Coops, N. (2014). Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras. *Agricultural and Forest Meteorology*, 184, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.007>.
- Samper, C., Gómez Mejía, A. & Wyse-Jackson, P. (Feb. 2002). Plant Conservation and Information Management in Botanic Gardens of Colombia. *Online archive of BGCI News*, 3(8). Retrieved from <http://www.bgci.org/resources/article/0366/>.
- Turner, D., Lucieer, A. & Watson, C. (2012). An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, 4(12), 1392-1410. doi:10.3390/rs4051392.

