

## Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución\*

Outlook of UAV Technology in Oil Palm Plantations:  
Crop Monitoring through High-resolution Aerial Images

**CITACIÓN:** Rincón, V., Molina, A., Torres-León, J.L. y Herazo, A. (2015). Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. *Palmas*, 36(3), 25-41.

**PALABRAS CLAVE:** palma de aceite, VANT, imágenes aéreas, resolución.

**KEY WORDS:** Oil palm, UAV, aerial images, resolution.

**RECIBIDO:** mayo de 2015.

**APROBADO:** junio de 2015.

\*Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

**VÍCTOR RINCÓN ROMERO**

Investigador Asociado. Área de  
Geomática, Cenipalma

**ANGIE MOLINA VILLARREAL**

Asistente de Investigación. Área de  
Geomática, Cenipalma

**JORGE LUIS TORRES-LEÓN**

Líder Área de Geomática, Cenipalma  
jltorres@cenipalma.org

**ANGÉLICA HERAZO HERNÁNDEZ**

Estudiante de Pasantía. Área de  
Geomática, Cenipalma

### Resumen

Actualmente es posible contar con una amplia disponibilidad de equipos versátiles diseñados para sobrevolar y capturar imágenes aéreas en áreas de grandes extensiones a bajo costo, y con resoluciones que varían en función de las propiedades de las cámaras que los integran, la altura y la autonomía de vuelo. El trabajo desarrollado tuvo como objetivo principal realizar un acercamiento al uso y aplicabilidad de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) en el seguimiento de las labores agronómicas del cultivo de palma de aceite. Para ello, se realizaron pruebas de vuelo en algunas plantaciones localizadas en las zonas Central y Oriental, en las cuales fue posible encontrar variedad de condiciones fenológicas y fitosanitarias del cultivo. Se emplearon tres tipos de modelos VANT para la toma de las imágenes y se probó el desempeño de dos *software* especializados (Pix4D y Agisoft) para el postproceso de las imágenes y la elaboración de los respectivos ortofotomosaicos. Los resultados obtenidos permitieron identificar problemas en el empalme de las imágenes, mostrando alteraciones en las propiedades de los píxeles y distorsiones en los mosaicos resultantes. Sin embargo, pese a dichas inconsistencias, las pruebas realizadas arrojaron que para el caso del cultivo de palma de aceite, la tecnología VANT puede ser una herramienta promisoriosa en la monitorización de labores agronómicas, la identificación de disturbios en las palmas y la elaboración de cartografía.

## Abstract

Nowadays, it is possible to count on a wide availability and versatility of equipment designed to fly and capture aerial imagery over large areas at reasonably low cost, with resolutions varying depending on the properties of the onboard cameras, altitude and flight autonomy. The aim of this work is to make an approach on the use and applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in monitoring agronomic labors in oil palm plantations. Flight tests were conducted over plots located in Central and Eastern oil palm zones, which are characterized by a variety of phenological and phytosanitary conditions. Three types of UAV were employed and the performance of two specialized software (Pix4D and Agisoft) for post-processing and ortho-mosaicking were tested. The results allowed us to identify problems at joining images, showing alterations in the properties of pixels and distortions in the resulting mosaic. Despite these inconsistencies, tests showed that in the case of oil palm cultivation, the UAV technology might be a promising platform for monitoring agricultural tasks, identifying disturbances and deriving cadastral and thematic cartography.

## Introducción

En el argot popular existen varias formas para hacer referencia a la tecnología VANT, tales como, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Unmanned Aerial Systems (UAS) y, quizá la más común de todas, *drone*. De acuerdo con el Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (AIAA por sus siglas en inglés) un VANT se define como “una plataforma aérea que está diseñada o modificada, que no transporta piloto humano y es operada a través de mando electrónico por el controlador de vuelo o por un sistema administrador de vuelo autónomo que no requiere intervención” (Nonami, Kendoul, Susuki, Wang, & Nakazawa, 2010). En esencia se refiere a la tecnología conformada por tres elementos: a) una plataforma aérea o aeronave; b) un enlace de datos entre tierra y la aeronave; y c) una estación de control en tierra (Asensio, Pérez, & Morán, 2008). En sí mismo, un VANT podría ser considerado como un dispositivo para diversión, ejemplo de esto es el modelo del *Phantom 2*, calificado como uno de los juguetes tecnológicos de 2014 (Graves, 2014). No obstante, cuando a estos dispositivos se les adicionan elementos tales como cámaras y piloto automático, dejan de ser vistos como simples instrumentos de distracción y se convierten en herramientas de apoyo. Por lo tanto, en adelante se hará referencia a un VANT como el complemento que integra la aeronave y una cámara que permite tomar fotografías desde el aire.

La adquisición de fotografías aéreas por medio de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT o UAV por sus siglas en inglés) es una alternativa que ha sido utilizada como fuente prometedora de información geográfica a gran escala. Originalmente, dicha tecnología fue diseñada, construida y utilizada con fines militares; sin embargo, paulatinamente se ha incorporado como una potente herramienta para el apoyo y manejo de los recursos territoriales (Berni, Member, Zarco-Tejada, Suárez, & Fereres, 2009; López Granados, 2013; Zhang & Kovacs, 2012). Entre muchas de las aplicaciones en las que ha tenido lugar el uso de los VANT, está la implementación en la recolección de información temática para la gestión de actividades agronómicas, lo que ha permitido a su vez considerar que el uso de fotografías aéreas para el seguimiento de los factores asociados a la dinámica de los cultivos puede ser una alternativa eficaz en el mediano plazo.

Asociados a la versatilidad y aplicabilidad que tienen las fotografías aéreas, principalmente en la recolección de información geográfica relevante para la identificación y el análisis del territorio, existen tres factores determinantes en la adopción de esta tecnología por parte de la comunidad científica y, en general, de la población civil: a) la mejora sustancial en la calidad de cámaras fotográficas digitales, la cual proporciona mayor detalle de las imágenes aéreas;

b) el avance de la tecnología de pilotos automáticos y GPS que conlleva a la posibilidad de disminuir en gran parte la necesidad de entrenamientos complejos para el pilotaje; c) el aumento de la oferta de equipos VANT, además de los servicios y productos asociados.

Por su parte, los avances en tecnologías tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han permitido responder parcialmente el interrogante relacionado con el lugar en donde ocurren los diferentes eventos al interior del cultivo; sin embargo, dichos sistemas en su mayoría están mostrando una realidad abstracta a través de polígonos, puntos y líneas, la cual puede verse potencialmente mejorada si se dispone de una tecnología que proporcione imágenes aéreas "desde arriba" de alto detalle (resolución espacial), a un costo razonable y con reducciones logísticas significativas comparados con plataformas como satélites o aviones convencionales. A pesar de que desde principios de los años 90 se cuenta con registros acerca del uso de equipos VANT en agricultura (Wong, 2001), son relativamente recientes las referencias que se han hecho con respecto a su aplicación en la monitorización de cultivos o áreas forestales, la mayoría con fines principalmente sanitarios (Ahmad, 2011; Harintaka, Subaryono, Susanto, & Hartono, 2009; Marzloff, 2014; Planer Friedrich, Becker, Brimer, & Merkel, 2008; Trindade Júnior, Neris, Chavier, Minghim, & Branco, 2012); por lo tanto, es importante aclarar que sus alcances en el campo de la agricultura aún están siendo evaluados.

Para el caso del cultivo de palma de aceite, el uso de la tecnología VANT parece ser una buena alternativa dado que además de facilitar la visualización del área cultivada y sus elementos geográficos, cuenta con una potencialidad adicional, ya que al ser una planta de alto porte requiere que todas las labores de seguimiento se realicen desde el suelo, por tanto el uso de imágenes aéreas permitiría una vista panorámica (desde arriba) que puede mejorar las actividades de supervisión del desarrollo del cultivo.

Por lo anterior, y gracias al aumento progresivo de la oferta de los VANT en el mercado, Cenipalma y en especial el Área de Geomática, han realizado trabajos exploratorios con algunas casas comerciales y grupos de investigación, orientados a identificar las fortalezas y debilidades de determinados modelos ante las condiciones del cultivo, buscando así proporcionar al gremio palmicultor algunos criterios que le permitan

seleccionar una alternativa adecuada y ajustada a sus necesidades. Estas pruebas se realizaron en las zonas Central y Oriental, específicamente en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína (Barrancabermeja) y las plantaciones El Samán y El Refugio (Sabana de Torres); Agrícola El Paraíso (Aguachica) y Unipalma de los Llanos (Cumaral).

El propósito de los vuelos realizados fue evaluar las condiciones de operatividad de los VANT y la potencialidad de las fotografías obtenidas para su aplicación en el cultivo. Es por ello que en el presente documento se consolidan de manera general las características, ventajas y desventajas de los equipos probados, incluyendo elementos que se observaron en la operación, los cuales deben ser tenidos en cuenta en las condiciones del cultivo de la palma de aceite; además, se examinan los productos resultantes (fotografías) con el fin de establecer las perspectivas de uso, las consideraciones y los retos que será necesario abordar para explotar de la mejor manera esta tecnología.

## Imágenes aéreas<sup>1</sup>

Los sensores que producen imágenes de manera remota y en particular los que producen imágenes aéreas, se caracterizan por tener cuatro tipos de resoluciones, a saber: espacial, espectral, radiométrica y temporal (IICA, 2014). Sin embargo, vale la pena resaltar que en el desarrollo del presente trabajo, el interés estuvo orientado principalmente hacia el análisis de las resoluciones espacial y espectral, dado que estas son determinantes en la aplicabilidad y los alcances de imágenes capturadas sobre el cultivo de la palma de aceite.

---

1 Hasta inicios del siglo XXI se suscitó una diferenciación entre fotografías e imágenes aéreas, para entonces aquellas escenas que era posible capturar desde una plataforma aérea como un avión se realizaban a través de una cámara análoga y, por tanto, el resultado era una "fotografía"; si la escena provenía de un satélite, el formato era digital y por tanto se hacía referencia a "imagen". Hoy día es muy posible que el 100 % de las escenas se capturen en formato digital, por lo que se usa el término imagen aérea para hacer referencia a las fotografías que se adquieren con los VANT.

## Resolución espacial

La resolución espacial de una imagen aérea hace referencia a las dimensiones del objeto más pequeño que puede ser discriminado en la imagen (López Granados, 2013); de manera explícita, la resolución de la imagen se establece a partir de la equivalencia que tiene la longitud de uno de los lados de un pixel de la imagen en unidades del terreno. Es así como se habla de que la imagen tiene una resolución espacial, por ejemplo, de 1 metro, esto quiere decir que el lado de cada uno de sus pixeles mide 1 metro. Dado que se realizaron vuelos con diferentes cámaras y a diferentes alturas, la resolución espacial obtenida presentó variaciones entre los 2,5 y 6 cm por pixel. En la práctica son necesarios al menos 2 pixeles para identificar un objeto (Hengl, 2006), por lo tanto, con los resultados alcanzados, fue posible discriminar totalmente las hojas y en palma adulta los foliolos. El establecimiento de una resolución óptima dependerá entonces de la edad del cultivo y del propósito del estudio; sin embargo, resoluciones entre 4 y 10 cm permiten discriminar la estructura general de las hojas.

## Resolución espectral

Las imágenes aéreas capturadas por una cámara digital convencional son la representación esencialmente de la energía reflejada, emitida y transmitida por la superficie objeto de estudio, siendo la energía reflejada por el sol, la de mayor representatividad en la imagen. Las cámaras que operan dentro de este principio son conocidas dentro del contexto de teledetección como sensores pasivos, dado que requieren de una fuente de energía externa, en este caso el sol, que permite registrar la energía reflejada por los objetos en un amplio rango de longitudes de onda. En el trabajo con imágenes es posible encontrar uno o varios subrangos del espectro, los cuales son denominados convencionalmente como bandas. La resolución espectral hace referencia a la cantidad de bandas y al rango de su longitud de onda. Por ejemplo, para que una cámara común muestre una imagen a color requiere de tres bandas (U.S. Army, 2003): azul (446 a 500 nm), verde (500 a

578 nm) y rojo (620 a 700 nm). En las pruebas realizadas se tomaron principalmente imágenes en la región del visible, sin embargo, en algunos casos fue posible hacer tomas sobre la misma área utilizando una cámara con filtro infrarrojo (720 nm) y con una cámara convencional para comparar las imágenes y establecer potencialidades de las mismas.

## Materiales y métodos

### Zonas de estudio

Considerando que el principal propósito de este trabajo es tener un acercamiento a la tecnología VANT, se realizaron sobrevuelos en diferentes áreas de las zonas Central y Oriental. Se eligieron cinco sitios especialmente por condiciones de logística, no obstante se buscó tener representatividad de los escenarios comunes en el cultivo de palma de aceite como son:

- Diferentes etapas fenológicas: siembra nueva, joven, adulta y senil.
- Presencia de enfermedades: Marchitez letal, Pudrición del cogollo y clorosis causada por *Cercospora sp.*
- Condiciones de logística: zonas de despegue/aterrizaje reducidas y limitaciones al campo visual.

Los cinco sitios fueron (Figura 1):

- Campo Experimental Palmar de La Vizcaína (73°42'7.65"O - 6°59'0.49"N)
- Finca Palmosan (73°37'4.86"O - 7°18'18.41"N)
- Finca Bella Vista (73°56'17.77"O - 7°38'25.30"N)
- Finca El Paraíso (73°36'4.79"O - 8°7'53.00"N)
- Unipalma de Los Llanos (73°15'23.69"O - 4°13'51.40"N)

### Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)

Para la adquisición de imágenes aéreas del cultivo se emplearon tres equipos: *eBee*, X8 y *Phantom 2*. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las características de cada uno de los equipos.



**Figura 1.** Localización de las zonas de prueba.

**Tabla 1.** Características de VANT utilizados.

Proveedor	SenseFly	Usense	DJI
Modelo	eBee	X8	Phantom 2
Tipo	Ala fija	Ala fija	Cuadracóptero
País	Suiza	Bélgica	Japón
Radio máximo de misión (m) sin aditamentos	3.000	1.500	350
Tamaño (cm)	96 x 50	215x90	40 x 40
Peso (g)	730	1.100	500
Cap. Carga (g)	150	300	100
Tiempo de vuelo (min)	45	45	25
Velocidad crucero (m/s)	16	12	5
Velocidad máx (m/s)	36	35	15
Autonomía de vuelo	Completa	Autonomía en plan de vuelo, requiere posicionamiento y aterrizaje asistido	Completa
Resolución cámara	16 Mp	12 Mp	--
Batería	1.800mah LiPo	5.200mAh LiPo	5.200mAh LiPo
Costo (USD)	25.000	5.000	2.000
Información	<a href="https://www.sensefly.com/drones/ebee.html">https://www.sensefly.com/drones/ebee.html</a>	<a href="http://usense.be/onewebmedia/USENSE-X8-UAV.pdf">http://usense.be/onewebmedia/USENSE-X8-UAV.pdf</a>	<a href="http://www.dji.com/product/phantom-2-vision/spec">http://www.dji.com/product/phantom-2-vision/spec</a>

El *eBee*<sup>2</sup> (Figura 2) es un VANT de ala fija, orientado específicamente al mapeo mediante imágenes aéreas, ofrece un alto nivel de automatización ya que el vuelo puede ser programado desde el computador y, si hay condiciones ambientales favorables, la intervención del piloto en tierra es mínima tanto en el desarrollo del vuelo como en la adquisición de las fotografías aéreas. El *eBee* está equipado con una cámara Canon IXUS 125 HS con resolución 12 Mp, está disponible con rango en el visible e infrarrojo. La toma de fotografías es configurada de manera conjunta con el plan de vuelo.

El X8 (Figura 3) es un VANT de ala fija orientado a la toma de fotografías aéreas para elaboración de ma-

pas. Presenta una autonomía media pues se requiere de un piloto capacitado para operarlo principalmente en el despegue y aterrizaje. El requerimiento de experiencia en el manejo es compensado con un precio bajo. El X8 incorpora una cámara Canon Power Shot S100 con resolución 16 Mp, que cuenta con la funcionalidad de tomas secuenciales y la toma de fotografías debe ser programada en tierra.

Finalmente, el *Phantom 2* (Figura 4), es un equipo diseñado para video aéreo panorámico. Aun en sus versiones más completas está equipado con una cámara con objetivo gran angular que deforma las fotografías y dificulta su uso para mapas.

**Figura 2.** *eBee* (SenseFly).

Fuente: <http://www.gizmag.com/sensefly-ebee-uav/25851/>



**Figura 3.** X8 (Usense).

Fuente: <http://www.usense.be>



2 Para más información <https://www.sensefly.com/drones/ebee.html>



**Figura 4.** *Phantom 2.*

Fuente: <http://www.dji.com/product/phantom-2-vision>

No obstante, existen trabajos que han adaptado el *Phantom 2* para toma de fotografías aéreas orientadas a mapas (Illsley, 2015), por lo tanto, considerando las limitaciones de la cámara, se realizó la adaptación de un celular con una cámara de 5 Mp de resolución, al cual se le activó la toma secuencial de fotografías utilizando la aplicación LapseIt y la georreferenciación de las mismas mediante el GPS interno del celular (Figura 5).

Reiterando que el principal objetivo perseguido es la monitorización del cultivo a través de imágenes aéreas, se realizaron tomas a tres alturas de vuelo (100, 150 y

200 metros sobre el horizonte) y en diferentes etapas del cultivo, adicionalmente, con el *eBee* fue posible adquirir fotografías con una cámara con filtro infrarrojo.

### Misiones

La planificación y ejecución de los vuelos se realiza con la asistencia de un *software* que varía dependiendo del equipo, para el *eBee* se utilizó el eMotion 2, para el X8 el Mission Planner y para el *Phantom 2* la aplicación DJI-*Phantom*.



**Figura 5.** Adaptación realizada al *Phantom 2* para toma de fotografías aéreas.

En general, para los tres casos, el *software* permite indicar el área a cubrir con el vuelo y las líneas de vuelo sobre las que se realizará la toma de fotografías. Para el caso puntual del *Phantom 2*, las líneas de vuelo se limitan a la unión de máximo ocho puntos. Para el *eBee* y *X8* se cuenta con asistencia en la definición de la resolución espacial de las imágenes en función de la altura de vuelo y la resolución de la cámara utilizada. Un ejemplo de la interfaz utilizada tanto para la planificación como para el seguimiento al plan de vuelo se presenta en la Figura 6.

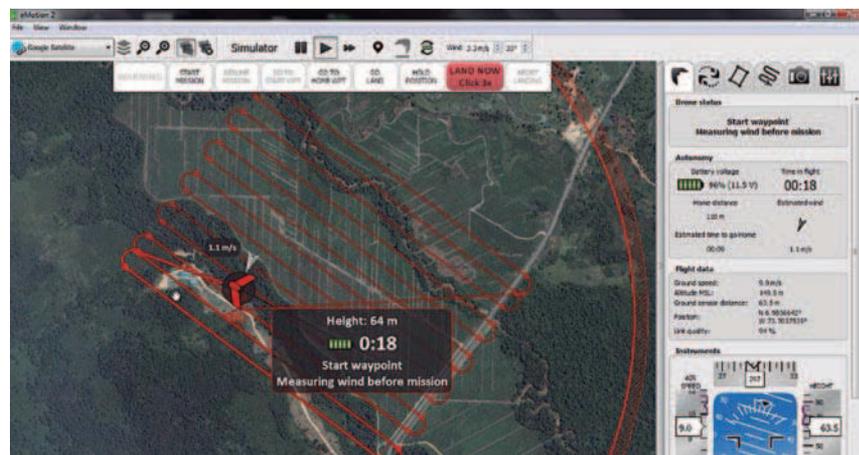
Como se mencionó anteriormente, se realizaron tomas de imágenes en cinco ubicaciones: Campo Experimental Palmar de La Vizcaína, Finca El Samán, Finca Bella Vista, Finca El Paraíso y Unipalma de Los Llanos. En la Tabla 2 se presentan los detalles de las misiones realizadas en dichas locaciones.

## Postproceso de imágenes aéreas

Un componente importante a la hora de trabajar y generar productos cartográficos a través de imágenes adquiridas por un VANT, es el postproceso que se debe realizar a estas. Teniendo en cuenta que el producto en bruto entregado por el VANT es una serie de fotografías, se requiere llevar a cabo un procedimiento que permita unir las en un ortofotomosaico, el cual debe cumplir como mínimo con las siguientes características (Cartesia, 2008):

- La ortofoto debe tener una proyección ortogonal que permita realizar mediciones precisas.
- Gran porcentaje de los elementos que se representan en la imagen se encuentran libres de deformaciones o distorsiones causados por el relieve, la cámara y el movimiento del vuelo.

**Figura 6.** Software eMotion para planificación de vuelo de eBee.



**Tabla 2.** Resumen de misiones realizadas.

Ubicación	VANT	No. Vuelos	Área cubierta (ha)	Altura de vuelo	Resolución espectral	Resolución espacial aprox.(cm)	No. Imágenes	Edad de la palma (años)
Campo Experimental Palmar de La Vizcaína	<i>eBee</i>	1	110	100	RGB	3.5	356	10
	<i>eBee</i>	1	110	100	NIR	3.5	360	10
	<i>eBee</i>	1	4	200	RGB	6.7	28	2
	<i>eBee</i>	1	10	200	NIR	6.7	71	2
	X8	4	350	150	RGB	5.6	143	4
El Samán	<i>eBee</i>	2	130	150	RGB	5	393	14
El Paraíso	<i>eBee</i>	1	40	150	RGB	5	290	25
Unipalma	X8	1	72	150	RGB	5.6	143	6
Bella Vista	<i>Phantom 2</i>	2	40	100	RGB	10	304	3

- La ortofoto es equivalente a un plano cartográfico de la misma escala.

Este proceso de construcción se debe llevar a cabo por *software* especializados tales como Pix4D o Agisoft, cuyas licencias tienen un costo comercial considerable. Si bien existen algunas iniciativas para el desarrollo de *software* de código abierto (Niethammer, Rothmund, Schwaderer, Zeman, & Joswig, 2012), el nivel de experticia requerido para el manejo de estos puede ser alto. Sin embargo, independiente del *software* que se utilice, es importante considerar que las fotografías aéreas deben contar como mínimo con la correspondiente georreferenciación (coordenadas x, y, z) para que el *software* pueda funcionar.

Para el procesamiento de las imágenes capturadas en los diferentes sitios se emplearon demos de Agisoft y Pix4D. Vale la pena destacar que estos programas requieren para su buen funcionamiento un computador que tenga procesador multinúcleo con velocidad superior a 3GHz y buena disponibilidad de memoria RAM. Una aproximación a la demanda de memoria RAM en el procesamiento de imágenes

está en [http://www.agisoft.com/pdf/tips\\_and\\_tricks/PhotoScan\\_Memory\\_Requirements.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/PhotoScan_Memory_Requirements.pdf). El equipo de cómputo empleado para esta tarea, se caracterizó por tener sistema operativo Windows 7, procesador Core i7 2.9 GHz y 8 Gb de RAM.

## Resultados y discusión

Dado que el objetivo del trabajo fue explorar la aplicabilidad de la tecnología de los VANT en el cultivo de palma de aceite, los resultados se abordan desde dos ópticas, el uso de los VANT y la aplicabilidad de las fotografías aéreas obtenidas.

### Operación de los VANT

Se evaluaron cuatro factores sobre cada uno de los VANT probados, con el fin de exponer las posibles limitaciones y potencialidades de cada equipo, en el caso de ser considerado como una herramienta de uso cotidiano para la toma de imágenes en el cultivo de palma de aceite. En la Tabla 3 se comentan las consideraciones y observaciones relacionadas con cada uno de los factores.

**Tabla 3.** Factores a tener en cuenta para la operación cotidiana de los VANT en el cultivo de palma de aceite.

VANT	Entrenamiento	Compatibilidad con imágenes aéreas	Precio <sup>3</sup>	Facilidad despegue/aterrizaje
<i>eBee</i>	Se constató que con un entrenamiento no mayor a cuatro horas es posible operar de manera eficiente el dispositivo	Incorpora un <i>software</i> que permite programar el plan de vuelo y la toma de fotografías	El precio aproximado del <i>eBee</i> se encuentra alrededor de los USD 20.000	El equipo se apoya en tecnología GPS que asiste el proceso de despegue y aterrizaje minimizando el requerimiento de área despejada <sup>4</sup> , adicionalmente el lanzamiento se realiza manualmente por tanto no requiere de plataformas adicionales. Se realizaron pruebas de despegue y aterrizaje en una vía rodeada por lotes de palma adulta sin contratiempos
X8	Al poseer un nivel medio de autonomía requiere de asistencia en despegue y aterrizaje, ello conlleva a que sea requerido un entrenamiento intensivo del piloto. Se estimó que un piloto experto puede estar formado en un tiempo mínimo de 3 meses	No posee vinculación entre el plan de vuelo y la obturación de la cámara para la toma de fotografías aéreas, por lo tanto las tomas se realizan por programación secuencial de las mismas, lo que implica una depuración posterior de las fotografías	El costo es bajo teniendo en cuenta la calidad del producto ofrecido, se encuentra alrededor de USD 4.000	Requiere un espacio amplio y despejado para el despegue y aterrizaje, adicionalmente el lanzamiento se realiza por medio de un sistema elástico a modo de catapulta, con lo cual el área debe tener como mínimo 100 m <sup>2</sup>

Continúa

<sup>3</sup> Valores del año 2014

<sup>4</sup> En un radio entre 30 y 50 metros no se deben encontrar obstáculos, para despegue y aterrizaje. Para información se puede consultar información sobre preguntas frecuentes: <https://www.sensefly.com/f-a-q.html>

VANT	Entrenamiento	Compatibilidad con imágenes aéreas	Precio <sup>3</sup>	Facilidad despegue/aterrizaje
<b>Phantom 2</b>	El equipo es de fácil operación, con una instrucción no mayor a dos horas es posible manipularlo sin mayores contratiempos	Como se mencionó, es necesario adaptar el equipo para fotografías que sean útiles para mapeo	Es un equipo relativamente económico, ya que se encuentra disponible en el mercado desde USD 400	Al ser un cuadricóptero puede despegar y aterrizar verticalmente lo cual facilita su operación y minimiza los requerimientos de espacio libre

Con respecto al *eBee*, vale la pena resaltar que requiere de un área pequeña para el despegue y aterrizaje, lo cual en condiciones de grandes de cultivos resulta ser una ventaja importante. En la Figura 7 se muestra la vía interna de una plantación, la cual fue utilizada para despegar y aterrizar el dispositivo sin contratiempos.

De acuerdo a lo expuesto por Payson (2013) se consideraron algunos componentes para establecer la operatividad de los equipos en el cultivo. En la Tabla 4 se presenta un resumen, no implicando en sí misma una evaluación de los equipos, de los pros y contras que se deben tener en cuenta para el uso de esta tecnología en el cultivo de palma de aceite.

### Detalle (Resolución espacial)

En la Figura 8a se presenta una fotografía adquirida sobre un lote con palma de 11 años, la cual cuenta con una resolución espacial de aproximadamente 4 cm. La Figura 8b representa un acercamiento sobre una de

las palmas capturadas en la fotografía aérea, y en ella es posible identificar claramente la estructura y el tamaño de las hojas, al igual que la distribución de los folíolos de las mismas, de tal forma que resulta viable utilizar este tipo de imágenes aéreas para la identificación de problemáticas a nivel de dosel. No obstante, se debe tener en cuenta que solo será posible discriminar alteraciones en el dosel que tengan un área superior a dos veces la resolución espacial de acuerdo con lo mencionado por Hengl (Hengl, 2006). A continuación se presentan los resultados observables en diferentes etapas del cultivo.

En la Figura 9a se presenta una fotografía de palma de cuatro años, con una resolución espacial de 6 cm aproximadamente. Un acercamiento a la palma (Figura 9b) permite discriminar las hojas del dosel y los folíolos. Además, es posible observar en la imagen los cambios en las tonalidades de cada una de las hojas, por tanto es viable el uso en discriminación de problemáticas en el dosel.

**Figura 7.** Área utilizada para despegue y aterrizaje del *eBee*



**Tabla 4.** Pros y contras de VANTS probados en el cultivo de palma de aceite.

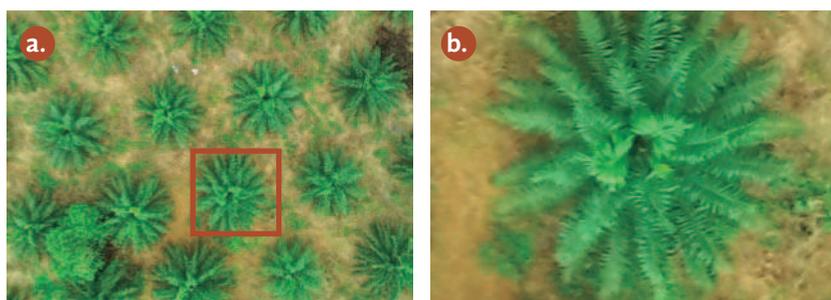
Modelo	Características			Uso				Reparación			Uso en el cultivo			
	Costo (USD)	Tamaño (cm)	Duración de vuelo	Tiempo de entrenamiento	Dificultad en maniobra	Plataforma de lanzamiento	Área de despeje	Modular	Dificultad en reemplazo de piezas	Seguridad en componentes electrónicos	Dificultad de despeje en ambientes con palma	Dificultad de aterrizaje en ambientes con palma	Logística requerida	Rendimiento estimado ha x vuelo (vuelo a 150 m)
eBee	15.000	96 x 50	45 min	2,5 horas	Mínima	No requiere	Poco despejada	Si	Baja	Alta	Media	Media	Mínima	100 ha
X8	4.000	200 x 150	45 min	6 meses	Alta	Si	Muy despejada	Si	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	100 ha
Phantom 2	400	40 x 40	25 min	2 horas	Mínima	No	Poco despejada	No	Alta	Baja	Baja	Baja	Mínima	12 ha



**Figura 8.** Detalle de resolución espacial en imagen aérea.

Cámara: Canon Power Shot S100 – Resolución 16 Mp. Altura de vuelo: 200 m. VANT: Usense X8.

- a. Imagen en palma adulta.
- b. Detalle observado.



**Figura 9.** Detalle de resolución espacial en imagen aérea.

Cámara: Celular Huawei G510 – Resolución 5 Mp. Altura de vuelo: 100 m. VANT: Phantom 2.

- a. Imagen en palma joven.
- b. Detalle observado.

Se realizaron tomas en palma recién sembrada con una resolución de 6 cm (Figura 10a). A diferencia de lo encontrado en palma joven y adulta, la discriminación de las hojas no es tan sencilla debido principalmente a la disposición vertical de estas. Como se puede observar en la Figura 10b, no es posible discriminar fácilmente una hoja de otra y por tanto cualquier análisis

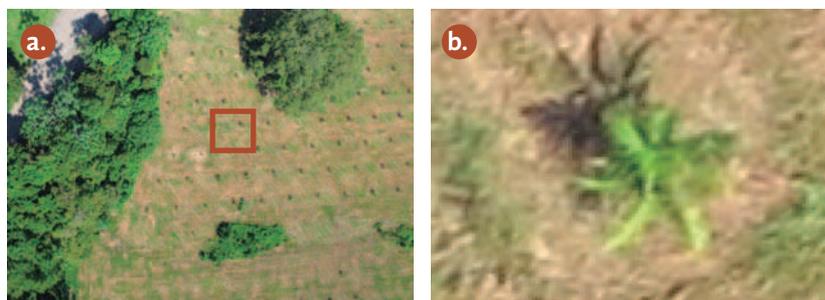
de la imagen llevaría a considerar el dosel como un todo. Sin embargo, lo anterior no sugiere descartar la utilidad de las imágenes aéreas en las condiciones de palma recién sembrada, pero para ello se debe tener en cuenta que se presentan limitaciones en la identificación de problemáticas sobre las hojas, ya que estas no se diferencian plenamente.

**Figura 10.** Detalle de resolución espacial en imagen aérea.

Cámara: Canon IXUS 125 HS  
Resolución 12 Mp. Altura de vuelo:  
150 m. VANT: eBee.

a. Imagen en palma nueva.

b. Detalle observado.



## Resolución radiométrica

Se realizó una inspección en paralelo de las imágenes adquiridas tanto en RGB como en infrarrojo. Un primer indicio se detalla en el círculo azul de la Figura 11a, en donde se encuentran dos palmas contiguas, aquella localizada en el costado izquierdo de RGB presenta tonalidades de verdes oscuros, mientras que la palma que se encuentra a la derecha presenta una gama de colores verde más claros. Así mismo, en la imagen tomada con el filtro infrarrojo (Figura 11b), se observa una tonalidad más clara en la palma de la derecha, lo cual confirma la diferencia de las tonalidades. Para establecer cuál palma (izquierda o derecha del círculo azul) manifiesta algún tipo de condición anormal,

es necesario parametrizar el comportamiento espectral de dicho disturbio a través de un estudio de la curva espectral; sin embargo, es claro que a primera vista es posible establecer algunas diferencias a partir del uso de fotografías aéreas capturadas en las regiones del visible y del infrarrojo cercano.

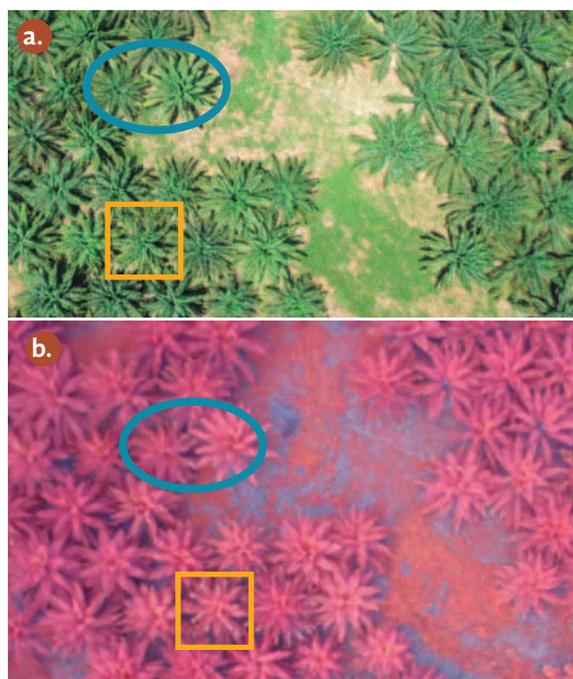
Otro ejemplo se presenta al interior del cuadro amarillo de la Figura 11a, la palma resaltada en la imagen RGB muestra clorosis (tonalidades amarillas) en los ápices de las hojas. Al observar el mismo recuadro en la toma infrarroja (Figura 11b), se puede observar cómo las clorosis de los ápices resaltan mucho más, lo que indica que es posible orientar el uso del infrarrojo para el análisis de problemáticas de la palma que se expresen a través de clorosis en el dosel de la palma.

**Figura 11.** Comparación entre imagen en RGB e infrarrojo.

Cámara: Canon IXUS 125 HS .  
Resolución 12 Mp. Altura de vuelo:  
150 m. VANT: eBee .

a. Imagen en RGB.

b. Imagen con filtro ultrarrojo.



## Postproceso

La producción del ortofotomosaico a partir de las imágenes adquiridas en los vuelos es una actividad que demanda recursos y tiempo que deben ser considerados en el momento de adoptar este tipo de tecnología.

Un primer requerimiento es el *software*, y como se mencionó anteriormente, para el caso de este estudio se utilizaron demos de los *software* comerciales Pix4D y Agisoft; sin embargo, en un escenario de uso continuo de la tecnología debe considerarse el costo de la licencia, el cual oscila entre 3.000 y 9.000 dólares. Aunque existen algunas alternativas de licencias temporales, su compra estará sujeta a la periodicidad de toma de imágenes.

De la misma manera, es importante considerar las necesidades de *hardware*, pues al revisar los requerimientos mínimos sugeridos por Pix4D o Agisoft, se identifica que el equipo de cómputo necesario tiene especificaciones que distan mucho de la gama media de computadores que generalmente se encuentran en el mercado.

Vale la pena resaltar que, si bien el tiempo destinado para el postproceso estará en función de la cantidad de imágenes que formen el mosaico, bajo las condiciones del estudio se encontró que la demanda de horas/computador es alta, llegando a establecer un rendimiento que se encuentra alrededor 15 horas para procesar un paquete de 100 imágenes.

Por último y no menos importante, es el recurso de espacio en disco para el almacenamiento del ortofotomosaico es fundamental, ya que la cantidad de

información que se genera tiene un volumen importante. A modo de ejemplo, en un vuelo que cubrió 110 hectáreas se adquirieron 360 imágenes que sin procesar ocupan un espacio de 1.85 GB y que posteriormente al generar el ortofotomosaico, se requirió de un espacio adicional de 1.75 GB, por lo tanto, para un trabajo recurrente se requeriría una disponibilidad mínima de 3.6 GB por vuelo.

Es importante tener en cuenta que, contar con todos los recursos anteriormente mencionados no garantiza un producto de calidad y, por desgracia, en algunos casos las deficiencias en el ortofotomosaico se detectan hasta el final del proceso. Para el cultivo de palma de aceite, se encontraron inconvenientes principalmente en la unión de las imágenes que corresponden a las partes internas de los lotes, en donde la cobertura es demasiado homogénea; además, se evidenciaron en algunos casos fotografías montadas, deformación de los objetos y pérdida de información.

En la Figura 12 se puede observar que las palmas presentan un alargamiento del dosel hacia la parte superior de la imagen. Este tipo de deformación limita significativamente cualquier procesamiento que se pretenda realizar, ya que los píxeles sufren transformaciones como consecuencia de la elaboración del ortofotomosaico.

Otro de los inconvenientes que se presentó como resultado de la unión de dos imágenes fue la anulación de una palma (Figura 13), la cual es posible identificar si se observa con detenimiento la zona de la imagen en donde el dosel aparece tenuemente al interior de círculo.



**Figura 12.** Deformaciones encontradas en la construcción de ortofotomosaico.

**Figura 13.** Pérdida de información por fotografías montadas en ortofotomosaico.

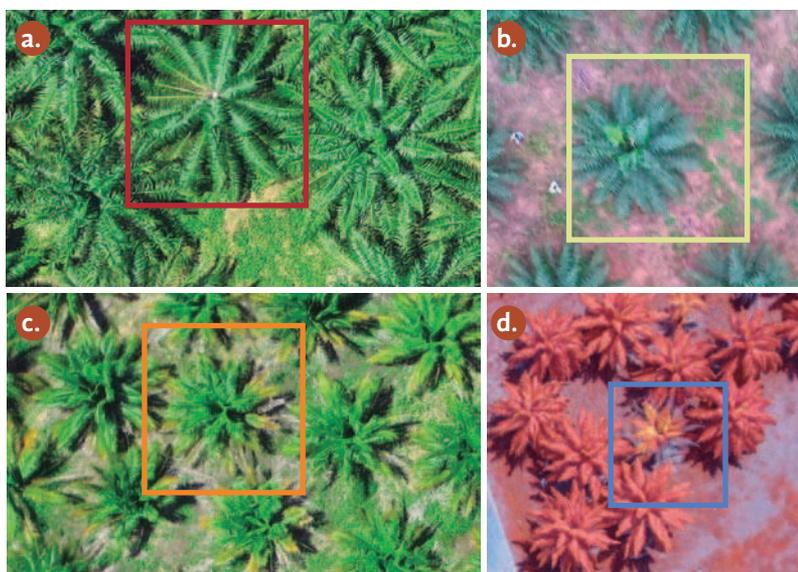


### Posibles aplicaciones en el cultivo

En agricultura, los usos que se les puede dar a las imágenes adquiridas a través de tecnología VANT están orientadas principalmente a la monitorización de los cultivos (Levin, 1999). De acuerdo con la experiencia adquirida, en un escenario a corto plazo, y con la tecnología disponible actualmente, se identificaron varias aplicaciones dentro de las cuales se encuentran la monitorización de labores en el cultivo, la identificación de posibles disturbios en las palmas y la obtención de productos cartográficos. Vale la pena aclarar que la calidad de todos los productos obtenidos con las imágenes aéreas está sujeta al procedimiento empleado, el tipo de cámara y el postproceso realizado a las imágenes.

En la Figura 14 se indican cuatro ejemplos de uso de imágenes aéreas en labores agronómicas cotidianas en el cultivo de palma de aceite:

- Cirugías. En el recuadro rojo (Figura 14a) se resalta una palma que ha sido sometida a una cirugía en la que se retiró el paquete de flechas. En la parte central de la palma, además de observar la ausencia de las hojas, es posible visualizar el techo plástico protector que se coloca luego de la cirugía.
- Control en la aplicación de tusas. En el recuadro amarillo (Figura 14b), se presenta cómo en palma joven es posible identificar la aplicación de tusa en las calles. Es factible que en palma joven se pueda identificar el estado de la cobertura, la limpieza de calles y otras condiciones del entorno de las palmas previo al cierre de las calles.
- Afectación por *Cercospora sp.* Algunas problemáticas sanitarias causan clorosis o necrosis de los folíolos que son posibles de reconocer a través de imágenes aéreas. En el cuadro naranja (Figura 14c) se presenta una palma que en campo fue identificada con el hongo *Cercospora sp.*, el cual causa desde clorosis hasta necrosis de los folíolos. A simple vista, en la imagen se pueden identificar zonas del dosel de la palma con clorosis y necrosis, no obstante, la discriminación de una clorosis causada por *Cercospora* a una ocasionada por otro motivo requiere del estudio de la respuesta espectral de los diferentes fenómenos.
- La detección de la Marchitez letal. Es una hipótesis que se ha manejado a partir del estudio de los cambios en la temperaturas obtenidas a través de termómetros infrarrojos (Aucique Pérez, Romero Angulo, & Hormaza Martínez, 2012; Cayón, Avellaneda, & Rodríguez, 2007), por tanto es posible que a través de la toma de imágenes aéreas en la región infrarroja del espectro sea posible identificar palmas con esta afectación. En el recuadro azul (Figura 14d) se enmarca una palma con Marchitez letal identificada en campo, en donde se puede observar que la tonalidad es diferente a las palmas de su entorno y por tanto se tienen indicios de que sea posible utilizar esta tecnología como apoyo a los avances previamente obtenidos. Sin embargo, es importante aclarar que este tema debe ser estudiado a fondo, y nuevamente se hace énfasis en que el estudio de la respuesta espectral es determinante para obtener resultados satisfactorios.



**Figura 14.** Ejemplos de aplicaciones en el cultivo de palma de aceite.

a. Seguimiento a labores (cirugía de PC). Cámara: Canon IXUS 125 HS Resolución 12 Mp. Altura de vuelo: 150 m. VANT: *eBee*.

b. Seguimiento a labores (Aplicación de tusa). Cámara: Huawei G510 Resolución 4 Mp. Altura de vuelo: 100 m. VANT: *Phantom 2*.

c. Identificación de disturbios (Afectación por *Cercospora* sp.). Cámara: Canon Power Shot S100 – Resolución 16 Mp. Altura de vuelo: 200 m. VANT: X8.

d. Identificación de disturbios (Caso de ML). Cámara: Canon IXUS 125 HS Resolución 12 Mp. Altura de vuelo: 150 m. VANT: *eBee*.

*A priori* se podría pensar que con la elaboración del ortofotomosaico y una adecuada fotointerpretación, es posible utilizar esta herramienta como un método alternativo para el seguimiento de las labores del cultivo; sin embargo, un análisis periódico de este tipo para labores recurrentes en una plantación, requeriría de bastante tiempo para realizar un paneo completo sobre toda la imagen, generando mayor desgaste y desvirtuando la tecnología, por lo tanto, se debe considerar el uso de técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) de tal forma que sea posible evidenciar aquellas condiciones especiales que se quieran identificar (por ejemplo palmas con clorosis) de manera rápida y precisa.

## Conclusiones

Como se ha mencionado a lo largo del documento, el uso de la tecnología VANT para generación de cartografía y productos afines en el campo de la agricultura es una tecnología reciente que aún se encuentra en etapa exploratoria, razón por la cual es lógico encontrar problemas en los productos obtenidos. Sin embargo, dichos problemas, más allá de ser un inconveniente para la adopción de la tecnología en el cultivo de palma de aceite, son en sí mismos la motivación para abrir una línea de investigación que

permita a mediano plazo incorporar esta tecnología para el apoyo de la toma de decisiones.

La investigación se debe orientar a la obtención de un ortofotomosaico de calidad, por lo tanto se deben abordar varios componentes partiendo de que se tiene una oferta suficiente de VANT y que los esfuerzos se deben concentrar en obtener y procesar las imágenes aéreas con mayor calidad.

Además, es necesario definir un protocolo para la adquisición de imágenes con VANT, independientemente del equipo utilizado. Para ello, se considera indispensable establecer una serie de procedimientos de planeación de vuelos que minimicen errores en la formación del ortofotomosaico. Es posible que dentro de dichos procedimientos sea necesario evaluar el banderilleo en campo con el fin de mejorar la precisión y mitigar un poco la homogeneidad que se presenta en las imágenes al interior de los lotes. Un elemento adicional a considerar es la altura de vuelo, ya que esta afecta la resolución espacial de la imagen y el cubrimiento por unidad de área.

Por otro lado, vale la pena resaltar que las investigaciones posteriores deben concentrar en dos frentes principalmente, el primero consiste en realizar pruebas para la captura de imágenes aéreas en diferentes cultivos y bajo condiciones contrastantes, con el

fin de identificar las potencialidades de uso de estos productos; y el segundo, en la ejecución de estudios orientados a discriminar adecuadamente un disturbio determinado, a partir de la previa determinación de los rangos del espectro electromagnético en el que este se manifieste. Para el caso de la palma de aceite ya existen estudios en los que ha sido posible definir las longitudes de onda en las cuales se expresa la presencia de agentes patológicos, tal es el caso de *Ganoderma boninense*, el cual fue identificado en el rango comprendido entre 680 y 730 nm (Shafri & Hamdan, 2009). Otros resultados importantes que se han tenido en este campo para palma de aceite ha sido el diagnóstico de múltiples problemáticas nutricionales, como por ejemplo la discriminación de la deficiencia de potasio principalmente en las bandas azul y verde (Selvaraja, Balasundram, Vadamalai, & Husni, 2013).

Es importante hacer énfasis en que si bien es una tecnología que puede brindar gran cantidad de información, si no es utilizada de una manera eficiente puede conllevar a grandes gastos de recursos y tiem-

po, por lo tanto la adopción de imágenes adquiridas mediante VANT se considera viable siempre y cuando se sustente en procesos que le brinden calidad y precisión a los productos obtenidos, ya que esto incidirá directamente en las actividades que se ejecuten a partir de las decisiones tomadas en función de la información suministrada por las imágenes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Cenipalma, Fedepalma y al Fondo de Fomento Palmero cuyo direccionamiento y apoyo fue fundamental para desarrollar este trabajo. A las empresas SenseFly, Usense y la Extractora Loma Fresca por permitir utilizar sus equipos para llevar a cabo estas pruebas. Al personal del Campo Experimental Palmar de La Vizcaína y las plantaciones Bella Vista, Agrícola El Paraíso, Unipalma de Los Llanos y El Samán por el acompañamiento y la buena disposición en el desarrollo de este trabajo. Finalmente y no menos importante, a nuestras familias por su apoyo incondicional.

---

## Referencias bibliográficas

- Ahmad, A. (2011). Digital mapping using low altitude UAV. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 19(Spec. Issue), 51–58.
- Asensio, J. L., Pérez, F., & Morán, P. (2008). UAV Beneficios y límites. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 1–5. Recuperado de: <http://www.cursoleo.aulaleonardo.com/raul.banos/IASS/IASS.htm>
- Aucique- Pérez, C. E., Romero- Angulo, H. M. y Hormaza- Martínez, P. A. (2012). Uso de la temperatura foliar como indicador fisiológico de la Marchitez Letal (ML) en la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Ceniavances*, 170, 1–4.
- Berni, J. A. J., Member, S., Zarco- Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722–738. Retrieved from: [http://quantalab.ias.csic.es/pdf/UAV\\_Berni\\_TGRS\\_09.pdf](http://quantalab.ias.csic.es/pdf/UAV_Berni_TGRS_09.pdf)
- Cartesia. (2008). *Ortofoto, precisión y usos*. Disponible en: <http://www.cartesia.org/print.php?sid=409>
- Cayón, G., Avellaneda, C. y Rodriguez, F. (2007). Aspectos fisiológicos asociados a la Marchitez letal de la Palma de Aceite. *Palmas*, 28(Número Especial), 373-382.
- Glover, J. (2014). *Drone University* (1st ed.). kiloOhm.com
- Graves, S. (2014). *Stuff Gadget Awards 2014: The DJI Phantom 2 is the Tech Toy of the Year*. Retrieved from: <http://www.stuff.tv/gadget-awards-2014/stuff-gadget-awards-2014-these-are-6-best-tech-toys-year/feature>

- Harintaka, Subaryono, Susanto, A., & Hartono. (2009). Assessment of Low Cost Small Format Aerial Photogrammetry for Cadastral Mapping (Case Study in Klaten Regency , Central Java , Indonesia). *7th FIG Regional Conference Spatial Data Serving People: Land Governance and the Environment- Building the Capacity*, (October), 19–22.
- Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283–1298. doi:10.1016/j.cageo.2005.11.008
- IICA. (2014). *Manual de agricultura de precisión*. (E. Chartuni Mantovani & C. Magdalena, Eds.). Montevideo.
- Illsley, P. (2015). *Digital aerial imaging and mapping with a Phantom 1 Quadcopter*. Recuperado de: <http://www.paulillsley.com/airphoto/systems/Phantom/>
- López- Granados, F. (2013). Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados ( UAV ) para la evaluación de la producción agraria. *Revista Ambienta*, 105, 40–52. Recuperado de: <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/UAV.htm>
- Marzolf, I. (2014). *The sky is the limit ? 20 years of small-format aerial photography taken from UAS for monitoring geomorphological processes*. EGU General Assembly 2014, 27 April - 2 May, 2014 in Vienna, Austria.
- Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., & Joswig, M. (2012). Open Source Image- Processing Tools for Low-Cost Uav-Based Landslide Investigations. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/C22, 161–166. doi:10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-161-2011
- Nonami, K., Kendoul, F., Susuki, S., Wang, W., & Nakazawa, D. (2010). *Autonomous Flying Robots*. Tokyo: Springer Tokyo.
- Payson, G. (2013). *Compare Drones & UAVS*. Working paper. Recuperado de: <http://uavcomparisons.com/uav-features-to-consider>
- Planer Friedrich, B., Becker, J., Brimer, B., & Merkel, B. J. (2008). Low-cost aerial photography for high-resolution mapping of hydrothermal areas in Yellowstone National Park. *International Journal of Remote Sensing*, 29(6), 1781–1794. doi:10.1080/01431160701395237
- Selvaraja, S., Balasundram, S. K., Vadamalai, G., & Husni, M. H. A. (2013). Use of Spectral Reflectance to Discriminate between Potassium Deficiency and Orange Spotting Symptoms in Oil Palm. *Life Science Journal*, 10(4), 947-951.
- Shafri, H. Z. M., & Hamdan, N. (2009). Hyperspectral Imagery for Mapping Disease Infection in Oil Palm Plantation Using Vegetation Indices and Red Edge Techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 6(6), 1031-1035.
- Trindade- Júnior, O., Neris, L. O., Chavier, L. F. C., Minghim, R., & Branco, K. R. L. J. C. (2012). A Toolbox for Aerial Image Acquisition and its Application to Precision Agriculture. *Iros*. Retrieved from: <http://www.cs.cmu.edu/~mbergerm/agrobotics2012/05Trindade.pdf>
- U.S. Army. Corp of Engineers. (2003). *Remote Sensing*. Washington D.C.
- Widodo, N. S., Yudhana, A., & Sunardi. (2014). Low Cost Open Source based UAV for Aerial Photography. *International Journal of Innovate Research in Advanced Engineering*, 1(10), 416–424.
- Wong, K. (2001). Survey of Regional Developments: Civil Applications. In *UAV Australia Conference* (pp. 1–8). Australia. Recuperado de: [http://www.uavm.com/images/KC\\_UAV\\_civil\\_app\\_KC\\_Wong\\_2002.pdf](http://www.uavm.com/images/KC_UAV_civil_app_KC_Wong_2002.pdf)
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. doi:10.1007/s11119-012-9274-5.