



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP



UNIVERSITY OF LEEDS



SERNANP PERÚ



# PROTOCOLO PARA SOBREVUELOS CON RPAs PHANTOM 4 PRO Y PHANTOM 4 RTK

Proyecto: “Nuevos enfoques para comprender el estado de la biodiversidad y contribuir con el bienestar social: Estudio de la distribución y degradación de *Mauritia flexuosa* en la Amazonía”.





# PROTOCOLO PARA SOBREVUELOS CON RPAs PHANTOM 4 PRO Y PHAN- TOM 4 RTK



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto de  
Investigaciones de la  
Amazonía Peruana - IIAP



UNIVERSITY OF LEEDS





## **PROTOCOLO PARA SOBREVUELOS CON RPAs PHANTOM 4 PRO Y PHANTOM 4 RTK**

Ximena Tagle Casapía  
Silvana Di Liberto Porles  
Lourdes Falen Horna  
Gerardo Flores Llampazo  
Ander Dávila Díaz  
Carolina Del Águila Mendoza  
Dennis Del Castillo Torres  
Timothy R. Baker

Primera edición, Octubre de 2021

© Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)  
Av. Abelardo Quiñones Km 2.5 Iquitos - Perú  
Apartado postal: 784.  
Correo electrónico: [preside@iiap.gob.pe](mailto:preside@iiap.gob.pe)  
[www.iiap.gob.pe](http://www.iiap.gob.pe)

ISBN PDF: 978-612-4372-38-4

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-12043

Edición: Ximena Tagle  
Diagramación: Gerardo Flores y Carolina Del Águila  
Revisión científica: Hildo Loayza Loza (Centro Internacional de la Papa) y David Urquiza Muñoz (Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Forestales)

Foto de portada: Ximena Tagle

Elaborado en el marco del convenio de financiamiento N° 219– 2018 - CONCYTEC - FONDECYT, “Nuevos enfoques para comprender el estado de la biodiversidad y contribuir con el bienestar social : Estudio de la distribución de degradación de *Mauritia flexuosa* en la Amazonía”.



## CONTENIDO

---

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	<b>7</b>
<b>CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs</b>	<b>8</b>
Consideraciones al planear la colecta de datos	8
Consideraciones al planear la misión	13
Consideraciones previas al vuelo	17
Consideraciones durante el vuelo	22
<b>SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PH4 PRO</b>	<b>23</b>
Partes del DJI PH4 Pro	23
<b>SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PH4 RTK</b>	<b>30</b>
Partes del DJI PH4 RTK	30
<b>SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA EL MAPEO DE ÁREAS EXTENSAS</b>	<b>37</b>
DJI PH4 Pro y PH4 RTK	38
<b>SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE</b>	<b>40</b>
DJI PH4 Pro	41
DJI PH4 RTK	42



## **CONTENIDO**

---

<b>CHECK LIST ANTES DE IR A CAMPO PARA RPA DJI PH4 PRO</b>	<b>46</b>
<b>CHECK LIST ANTES DE IR A CAMPO PARA RPA DJI PH4 RTK</b>	<b>47</b>
<b>CHECK LIST PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS</b>	<b>48</b>
<b>INSTRUCTIVO DE VUELO PARA EL RPA DJI PH4 PRO</b>	<b>49</b>
<b>INSTRUCTIVO DE VUELO PARA PH4 RTK</b>	<b>50</b>
<b>FORMATO DE REGISTRO DE MISIONES (LOGBOOK)</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>



## INTRODUCCIÓN

---

Las aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) son plataformas aéreas que se caracterizan por su versatilidad. Uno de sus tantos usos, y en los que el presente documento se basa, es en la aplicación de RPAs para evaluaciones en el llano amazónico. Esto se debe a que los RPAs cada vez tienen menores costos de fabricación, operación y mantenimiento; y mayor flexibilidad en la planificación de sobrevuelos (Galán, 2017). Siendo muy útiles para colección de datos de alta resolución espacial en lugares de difícil acceso y en donde las imágenes satelitales no están siempre disponibles debido a la presencia de nubes o altos niveles de humedad.

La combinación del uso de RPAs con métodos fotogramétricos, permite que se generen mosaicos o megafotografías de la zona de estudio que proveen información relevante como distancias, áreas o ubicación de los objetos de estudio. Asimismo, las técnicas empleadas generan estos mosaicos a partir de modelado 3D, lo cual permite visualizar al área de estudio, no solo en un plano, sino, ser capaces de percibir las diferencias en altura entre objetos (Torres *et al.*, 2015; Dunford *et al.*, 2009; Salamí *et al.*, 2014).

El principal uso de RPAs en la Amazonía está relacionado a monitoreo y validación de zonas con deforestación, cambios de cobertura vegetal y uso del suelo (Paíz, 2017; Conservación Amazónica, 2018; Bourgoïn *et al.*, 2020) pero también es posible identificar y delinear copas de palmeras como *Mauritia flexuosa*, *Euterpe precatoria*, y *Oenocarpus bataua*; así como cuantificar área de claros de bosques (Tagle *et al.*, 2020). El uso potencial de RPAs en la Amazonía es vasto.

Este protocolo ha sido diseñado para proveer algunas directrices sobre cómo obtener imágenes de alta resolución espacial para mapear palmeras en aguajales de la Amazonía peruana. La metodología descrita es el resultado de aplicar las recomendaciones de los fabricantes de los RPAs y de la experiencia acumulada durante los sobrevuelos realizados desde el año 2017 hasta la fecha, donde se presentan los pasos para realizar sobrevuelos de más de 100 hectáreas con RPAs comerciales, empleando la cámara en posición ortogonal (90°), denominados “Sobrevuelos de áreas extensas”; y el procedimiento para realizar sobrevuelos con un ángulo de inclinación de la cámara diferente a 90°, para generar modelos del bosque en 3D, denominados “Reconstrucción 3D”; esta variante de sobrevuelo ha sido empleada para detectar frutos de palmeras.

El protocolo tiene como objetivo difundir los conocimientos adquiridos en el uso de RPAS para que las diversas instituciones trabajando en aguajales puedan replicar fácilmente la metodología empleada.



## RESUMEN

---

Este protocolo ha sido diseñado para obtener imágenes de alta resolución espacial con el objetivo de realizar un mapeo de palmeras en aguajales de la Amazonía Peruana. La metodología descrita es el resultado de aplicar las recomendaciones de los fabricantes de los RPAs y de la experiencia acumulada durante los sobrevuelos realizados desde el año 2017 hasta la fecha.

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “**Novel approaches to understand the state of biodiversity and support livelihoods: the distribution and degradation levels of *Mauritia flexuosa* stands in Amazonia**”, financiado por los fondos Newton-Paulet del Gobierno Británico y el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) del Gobierno Peruano, en colaboración con el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), la Escuela de Geografía de la Universidad de Leeds, el laboratorio de Geoinformática y Teledetección de la Universidad de Wageningen (WUR), el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), la ONG Amazónicas por la Amazonía (AMPA) y la empresa Recursos Amazónicos Frutales SAC (RAFSAC).

En este protocolo presentamos los pasos para realizar sobrevuelos de más de 100 hectáreas con la cámara en posición ortogonal (90°), denominados “Sobrevuelos de áreas extensas”, y el procedimiento para realizar sobrevuelos con un ángulo de inclinación de la cámara diferente a 90°, denominado “Reconstrucción 3D”; esta variante de sobrevuelo ha sido empleada para detectar frutos de palmeras. Esperamos que este protocolo contribuya brindando los criterios necesarios para el desarrollo de futuros trabajos en la Amazonía peruana.





## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

GPS: *Global Positioning System* o Sistema de Posicionamiento Global, es una herramienta de navegación formada por 24 satélites a 20.000 kilómetros por encima de la tierra con órbitas móviles, enviando datos precisos de la hora y posición del satélite, lo que permite calcular la localización exacta del receptor en tierra (Ribeiro, 2003).

Overlap rate: Término que hace referencia al porcentaje de superposición de imágenes (traslape).

RC: Control remoto, por las siglas en inglés.

RPA: *Remotely Piloted Aircraft* o Aeronave pilotada a distancia, generalmente conocido como “drone”, es una aeronave pilotada por un “piloto remoto” quien monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa de la conducción segura de la aeronave durante todo su vuelo (DGAC, 2015).

RPAs: *Remotely Piloted Aircraft System* o Sistema de Aeronave pilotada a distancia, conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo (DGAC, 2015).

RTK: *Real Time Kinematic* o GPS en tiempo real, consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cm + 1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo (González, 2015).

VTOL: *Vertical Take-Off and Landing*, RPA mixto que tiene las ventajas de los RPAS de ala fija (mayor alcance, autonomía y capacidad de carga) y las de ala rotatoria (despegue y aterrizaje vertical) dotando al vehículo de una mayor flexibilidad y rapidez (Prieto, 2019).





## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

---

### Consideraciones al planear la colecta de datos

#### Materiales y equipos recomendados para trabajos de fotogrametría

Si bien en la actualidad es más sencillo adquirir un RPA, para generar un mosaico en donde se pueda tener dimensiones o áreas certeras, es importante tanto la captura de imágenes como el procesamiento posterior. Para ello, es necesario contar por lo menos con los siguientes materiales y equipos:

- **RPA** DJI Phantom 4 Pro o DJI Phantom 4 RTK
- **Tablet** Sistema operativo Android (usar la app Ctrl+DJI) o Ipad de 7" con aplicaciones
- Pix4D capture y DJI GO 4 instalado (para el DJI Phantom 4 Pro).
- **Laptop** de 2,6 GHz, cuatro núcleos con 8 GB de RAM con software Agisoft Metashape versión Demo instalado
- 4 **Targets** plastificados de control (ver pág. 11)
- Receptor **GPS**
- **Binoculares**
- **Check Lists e Instructivo de vuelo** impresos, en cuaderno de notas o en la tablet



**Nota:** por más que uno realice sobrevuelos constantes, es importante contar con un check list de materiales y equipos para revisar **antes de ir al campo** (ver págs. 46 y 47) y **para el mantenimiento de equipos** (ver pág. 48), así como siempre revisar los **instructivos de vuelo** (ver págs. 49 y 50) para evitar omitir detalles que pueden retrasar o perjudicar las actividades.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones al planear la colecta de datos

#### Normatividad

Es importante estar al tanto de la legislación vigente para evitar sanciones o problemas por volar en zonas no permitidas. En este caso, es recomendable seguir los lineamientos de la Ley de Aeronáutica Civil del Perú – Ley N°27261 y su Reglamento, la Ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) - Ley N°30740, así como el Documento 10019 AN/507 de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) “Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems” (2015), para realizar trabajos con RPAs.

Es necesario que el **equipo esté registrado** en la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil) y la persona a operar el RPAs cuente con una **licencia de piloto** de RPAs vigente. Asimismo, se debe evitar volar en zonas restringidas, zonas prohibidas o zonas peligrosas (DGAC, 2015).

La NTC-001-2015 “Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia”, establece que ninguna persona podrá operar un RPAS a menos de 4 km de un aeródromo, excepto para fines de prevención de impactos con aves o sobre vías de comunicación, incluyendo toda infraestructura vial (viaductos, carreteras, caminos, senderos, puentes), infraestructura de transmisión eléctrica y de telecomunicaciones (postes, torres, cables y antenas), cursos de agua navegables y ductos para transporte de hidrocarburos. Sin perjuicio de ello, los RPA podrán volar próximos a estas vías, manteniendo una separación horizontal mayor de 30 metros, del borde o extremo de las mismas.

Además, es necesario estar pendiente de los **NOTAMs (Notice to Airmen)**, información para aviadores publicada en medios de comunicación que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o riesgo aeronáutico de carácter temporal y de corta duración cuyo conocimiento oportuno es indispensable para el personal afectado por las operaciones de vuelo (DGAC, 2015).



**Nota:** es necesario recalcar que antes de planificar sobrevuelos en determinada localidad, es importante verificar que se cuenten con los permisos requeridos para realizar trabajos en la zona, principalmente dialogar y recibir la aprobación de la comunidad/centro poblado, así como de instituciones del Estado como el SERNANP, SERFOR y Gobierno Regional.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

---

### Consideraciones al planear la colecta de datos

#### **Precisión geométrica** (márgenes de error de ubicación en caso de generación de ortomosaicos)

Según los objetivos del trabajo, en algunos casos, el producto a generar es un ortomosaico de la zona, el cual permitirá obtener medidas de distancias o áreas. Las técnicas de fotogrametría permiten la generación de un mosaico a partir de varias imágenes de RPAs, el cual tendrá una precisión geométrica variable, según la calidad de los sistemas de navegación con que se disponga.

Existen RPAs con sistemas de navegación más preciso, como aquellos con RTKs (Real Time Kinematic) incorporados (Stott *et al.*, 2020), los cuales generalmente son más costosos. Un ejemplo es el caso del Phantom 4 RTK que puede costar hasta cinco veces más que el Phantom 4 Pro pero que permite obtener información georeferenciada más precisa sin necesidad de colocar Puntos de control terrestre.

La manera menos costosa de reducir errores geométricos es mediante el uso de Puntos de Control Terrestre o GCPs (Colomina y Molina, 2014). La ubicación de los GCPs (Ground Control Points, por sus siglas en inglés) es de importancia vital en la planificación de misiones ya que permitirá reducir los márgenes de error en la reconstrucción y ortorectificación del mosaico (Pix4D, 2018).



**Nota:** es importante seleccionar el equipo a adquirir de acuerdo a los objetivos del trabajo, considerando la precisión que el trabajo requiera; así como también la extensión y las características del área de trabajo.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones al planear la colecta de datos

Para registrar los GCPs se debe utilizar un receptor GPS (por ejemplo, submétrico), anotando los datos de ubicación y altitud.



**Nota:** es importante siempre tener por escrito el equipo con el que se trabaja, así como el error del mismo al momento de registrar cada punto.

Es necesario establecer los GCPs en áreas en donde la cámara del RPA pueda capturar el GCP fácilmente (Fig. 1). Es decir, no se recomienda colocar un GCP bajo un árbol o alguna estructura que tape de alguna manera al target, pues al estar trabajando con imágenes de una cámara fotográfica convencional, la cámara no va a penetrar objetos y sólo captará lo que se ve en la parte superior, por lo que, si hubiese un árbol muy cerca, aparecería la copa del mismo y no el target del GCP.



**Figura 1.** GCP (dentro de circunferencia color rojo) ubicado en claro del bosque.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones al planear la colecta de datos

La configuración, el número y la ubicación de los puntos de control terrestre influyen en la precisión del mosaico o modelo 3D. Se recomienda usar entre 4 a 10 GCPs, dependiendo de la extensión de cada una (Pix4D, 2018). Los GCPs deben estar distribuidos espacialmente, de manera homogénea a lo largo del perímetro y que se ubiquen en el área a sobrevolar (Fig. 2). Cabe resaltar que, para obtener mayor precisión en el eje Z, es importante también colocar GCPs en el centro del área de estudio o en zonas con cambios en la pendiente (Jiménez *et al.*, 2017; Villanueva y Blanco, 2019).

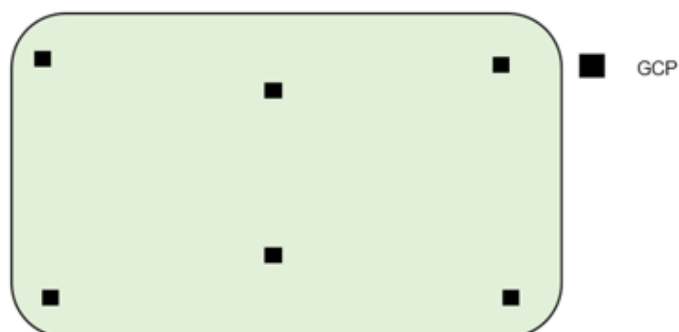


Figura 2. Ejemplo de distribución de los puntos de control (GCPs).

Figura 2.



**Nota:** el uso de GCPs en bosques densos no es recomendable, pues la vegetación no permitiría la visibilidad de los targets. En algunos casos se pueden colocar en claros, pero no siempre se encuentran claros en la zona a sobrevolar.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

---

### Consideraciones al planear la misión

En el presente protocolo, se considera como **misión** a cada área de estudio sobrevolada en determinada fecha. Puede haber varios sobrevuelos en la misma zona, por lo que se considera que hubo varias misiones, las cuales posiblemente difieran en hora de vuelo. Las misiones se pueden realizar de manera manual (el piloto maniobra y decide dónde tomar las fotografías – no recomendable) o de manera programada.

En una misión programada, el planeamiento de la misma inicia con la definición de una región de interés, generalmente dibujada sobre un mapa base georreferenciado (por ejemplo, Google Maps®) para luego ingresar los parámetros de vuelo y, a partir de esta información, el software calcula automáticamente las líneas de vuelo (Neitzel y Klonowski, 2011; Nex y Remondino, 2013).

Se recomienda nombrar a cada misión basándose en el nombre de la zona y el número de misión a volar. Se puede seguir la estructura siguiente: “LUGAR-Número de parcela\_Número de misión”.

Detalles:

- Lugar: 3 letras mayúsculas.
- Número de parcela: 2 dígitos o más.
- Número de misión (consecutivos)



**Nota:** es importante mantener la estructura del nombrado de las misiones para que el trabajo en gabinete sea ordenado. Siempre se debe registrar toda la información de cada misión en el logbook (ver pág. 51), el cual sirve como historial, pero también para hacer las declaraciones a la DGAC.

A continuación, se mencionan los **parámetros de vuelo** requeridos para conducir una misión.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

---

### Consideraciones al planear la misión

- El ángulo de inclinación de cámara:
  - $90^\circ$ , cuando la cámara está enfocando hacia abajo (Fig. 3). Es ideal para generar ortomosaicos o hacer reconstrucciones 3D de la zona sobrevolada.



**Figura 3.** Imagen capturada con  $90^\circ$  de ángulo de inclinación de cámara usando el RPA DJI Phantom 4 Pro.

- $45^\circ$ , cuando la cámara está en posición oblicua (Fig. 4). Es útil para grabar videos o tomar fotografías en donde se vea el panorama, las tomas pueden ayudar a generar una reconstrucción 3D de zonas que no se visualizan cuando la cámara está directamente enfocando hacia abajo ( $90^\circ$ ).



**Figura 4.** Imagen capturada con  $45^\circ$  de ángulo de inclinación de cámara usando el RPA DJI Phantom 4 Pro.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones al planear la misión

- Tipos de altura de vuelo:
  - sobre el nivel del suelo (AGL, Above Ground Level)
  - sobre el nivel del dosel (ACL, Above Canopy Level)
  - sobre el nivel del mar (ASL, Above Sea Level)

La mayor parte de software de planificación de misiones toman en consideración la altura de vuelo sobre el nivel del suelo (AGL), pero hay algunos que tienen opciones como altura al nivel del mar (ASL) por lo que hay que verificar este valor con cautela. Algunas personas toman en cuenta la altura sobre el nivel del dosel del bosque debido a que es importante conocer la altura media y la altura máxima de los árboles de la zona a volar (sobre todo si hay diferencias en el relieve) para que no existan percances durante el vuelo (impacto del RPA con un árbol que no fue considerado al momento de decidir la altura de vuelo) o para decidir si la elevación es suficiente como para lograr capturar diferentes texturas y sea más fácil la generación del mosaico.

La **altura de vuelo es un factor importante para definir la resolución espacial** (nivel de detalle de las imágenes), mientras más alejado del objeto de estudio, la resolución espacial será menor (los objetos se verán más pequeños). Debido a que las cámaras de los RPAs permiten tomar fotografías con alto nivel de detalle, por más que se vuele alto, el valor de cada pixel será entre 1 a 5 cm, por lo que las imágenes de RPAS tienen de todas maneras muy alta resolución espacial.



**Nota:** a diferencia de lo que se pudiera pensar sobre la generación de mosaicos que contengan vegetación compleja (como son los árboles), es preferible volar a más de 20 m sobre el dosel del bosque para que la cámara registre mayor variación en cada imagen (ejm: se vean copas completas). Esto hará más fácil encontrar puntos en común para unir todas las imágenes y obtener el mosaico. Si se vuela muy cerca de las copas de los árboles, sólo se verán hojas y el software que se emplee para generar el mosaico tendrá dificultad en encontrar puntos que permitan unir a las imágenes, pues no se sabrá a qué árbol le corresponden las hojas de cada imagen.





## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones al planear la misión

- La superposición de las imágenes (traslape):

Depende de la complejidad del objeto de estudio, el traslape mínimo requerido para poder generar un ortomosaico es de 60%; sin embargo, debido a que no es sencillo (ni muy barato) sobrevolar en zonas alejadas y con presencia de árboles, es recomendable asegurar la adquisición de la mayor cantidad de imágenes posible para que en caso que haya errores en algunas tomas (Fig. 5), se puedan descartar y aún se disponga de imágenes con traslape. Esto se logra teniendo una superposición entre imágenes de 80-90%.



**Nota:** es preferible tener muchas imágenes que luego se pueden reducir al momento de procesar, a no tener suficientes para generar el mosaico y se deba de volver al campo para sobrevolar nuevamente, lo cual incurriría en mayores costos y tiempos.



**Figura 5.** Parte de un mosaico obtenido usando el software Pix4D mapper. La parte señalada en rojo presenta “agujeros” negros y zonas borrosas debido a la falta de imágenes con suficiente traslape para poder reconstruir el mosaico.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones previas al vuelo

#### Condiciones ambientales

Si bien los RPAs brindan flexibilidad a la hora de la colecta de imágenes, es importante tener en cuenta que las condiciones ambientales como iluminación, nubosidad, viento, lluvias, entre otros, pueden afectar a la calidad de las imágenes que se adquieran. Estos factores deben tenerse en cuenta para la creación de mosaicos y se debe prestar atención especialmente si se combinan datos de diferentes misiones para la generación de un solo mosaico (Tagle *et al.*, 2019). A continuación, se describe cada uno de los factores, así como los posibles resultados en los mosaicos:

- **Luz solar:** debido a que la cámara del RPA captura imágenes cuando hay presencia de radiación solar (luz solar), se recomienda estar informado sobre las horas de sol durante el año en el área de estudio, principalmente si uno se encuentra en latitudes altas. En los trópicos las horas del amanecer y atardecer son casi constantes; sin embargo, el ángulo de elevación solar varía durante el día. El ángulo de elevación solar influye en la aparición de sombras en las imágenes, a menor ángulo solar, más sombras.



**Nota:** se recomienda volar cuando el ángulo solar es superior a  $30^\circ$  (generalmente entre las 8:00 a 15:00 horas).

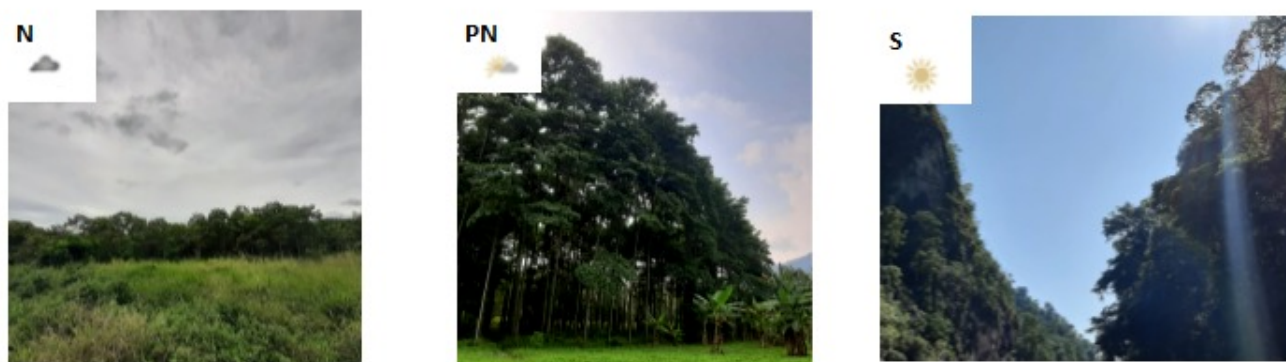
- **Condiciones de iluminación:** la incidencia de luz solar en determinada área está influenciada por la presencia de nubes en la zona. Las nubes difunden (“filtran”) parte de la radiación solar, por lo que su presencia o ausencia influirá en la tonalidad de las imágenes capturadas. Un cielo cubierto completamente por nubes permitirá la obtención de mosaicos más homogéneos pues la luz solar no vendrá de una sola ubicación y las imágenes estarán con un tono similar. Con un cielo despejado, en algunos casos se pueden obtener imágenes saturadas. Adicionalmente, la presencia de una sola nube tipo cúmulo puede crear sombras en una limitada parte del área a sobrevolar y esto se aparecerá en el mosaico como una sombra o área más oscura.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones previas al vuelo

La condición de iluminación se debe registrar para cada misión conducida (Fig. 6), indicando por lo menos, si el cielo ha estado despejado (soleado - S), con presencia de algunas nubes (parcialmente nublado – PN) o completamente nublado (N). Un modelo de cómo registrar los datos de las misiones se puede observar en la pág. 47.



**Figura 6.** Condiciones de iluminación.

**Fuente:** Adaptado de Tagle (2017).

- **Viento:** si bien el RPA DJI Phantom 4 Pro resiste vientos hasta de 10 m/s, obtener imágenes mientras hay vientos fuertes ocasiona que la vegetación se encuentre en diferentes posiciones, por lo que será difícil obtener un mosaico completo y algunos objetos sean parcialmente visibles (Fig. 7). Adicionalmente, la presencia de vientos en general, afecta el desempeño de la batería del equipo, por lo que, a mayor fuerza del viento, menor tiempo de vuelo.



**Figura 7.** Parte de un mosaico con copas parcialmente visibles por efecto del viento.

**Fuente:** Tagle, *et al.* (2019).



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones previas al vuelo

- **Precipitación:** aunque el RPA DJI Phantom 4 Pro resiste cierta cantidad de agua, las imágenes capturadas durante eventos de lluvia pueden contener gotas de agua, lo cual, al generar un mosaico, puede reflejarse en algunas áreas borrosas o todo el mosaico puede ser borroso (Fig. 8).



**Figura 8.** Parte de un mosaico con presencia de gotas de agua lo que impide una adecuada reconstrucción del mosaico.

**Fuente:** Tagle, *et al.* (2019).

- **Humedad:** se recomienda evitar volar inmediatamente después de eventos de lluvia o cuando el porcentaje de humedad relativa supere el 80%, pues el lente de la cámara tiende a empañarse y las imágenes capturadas serían borrosas y no servirían. Adicionalmente se podría afectar al barómetro del equipo.
- **Temperatura:** el rango recomendable para sobrevolar el RPA DJI Phantom 4 Pro es entre 0° y 40 °C, pero se recomienda una temperatura ideal de +- 23 °C evitando que la batería del RPA se sobrecaliente. De la misma manera, evitar exponer a la tablet al sol directo durante la misión, pues también tenderá a calentarse, especialmente si se encuentra dentro de alguna funda.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones previas al vuelo

#### Seguridad y salud ocupacional

Es necesario cumplir con ciertos requisitos para garantizar la seguridad del piloto y del entorno, como se detalla a continuación:

- El piloto debe contar con una licencia acreditada por la DGAC, estar en buen estado de salud, realizar un análisis de riesgo y verificar que el equipo esté en condiciones óptimas de vuelo; por ningún motivo se debe volar si el equipo presenta fallas.
- Cuando se vuela en zonas boscosas es importante tener un copiloto y por lo menos un asistente de vuelo que estén pendientes del RPA desde diferentes ubicaciones para no perderlo de vista (el uso de binoculares es recomendable) (Fig. 9) (DGAC, 2015 y Sharma, 2019).
- Tener precaución cuando se sobrevuele en zonas con muchas personas alrededor; por lo menos mantener 2 m de distancia con respecto al RPA.
- Se recomienda no volar en zonas con grandes estructuras de acero y electrónicas ya que causan interferencia magnética y pueden hacer perder el control del RPA (Vallhonrat, 2017). Por experiencia propia, al encender el RPA en algunas zonas boscosas, nos hemos encontrado con este efecto de inducción electromagnética.
- Se recomienda que por lo menos el piloto cuente con arnés de soporte para el control remoto, debido a que, a largo plazo, el peso de éste afecta a las muñecas. También es recomendable usar materiales para protegerse del sol como gorros, lentes con protección UV, camisas manga larga, bloqueador, repelente de mosquitos, entre otros.



**Figura 9.** Piloto, copiloto y asistentes trabajando en zona boscosa.



**Nota:** Al notar presencia de aves u otros animales cerca, que puedan ser afectados o afectar al equipo, es mejor pausar o cancelar la misión, dependiendo de la complejidad caso.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones previas al vuelo



**Nota:** antes de realizar cualquier salida de campo es necesario revisar si se cuenta con todos los equipos y materiales necesarios para utilizar el RPA correctamente por ello es importante el **Check List antes de ir al campo** (págs. 46 y 47) y **para el mantenimiento de equipos** (pág. 48). Además se debe repasar antes del inicio de cualquier misión el **Instructivo de Vuelo** (págs. 49 y 50), el cual se recomienda sea impreso y colocado en el tablero de despegue para tenerlo siempre de referencia (Fig. 10).



**Figura 10.** Tablero de despegue con el instructivo de vuelo.



## CONSIDERACIONES GENERALES PARA SOBREVUELOS CON RPAs

### Consideraciones durante el vuelo

Durante el vuelo es posible que se presenten situaciones que es necesario tomar en cuenta para poder evitar posibles problemas. A continuación, se detallan algunos casos:

- Abortar misión si las condiciones climáticas se tornan desfavorables como es el caso de lluvias, tormentas eléctricas o viento muy fuerte. Volver manualmente o utilizar el botón de retorno a casa o punto de origen (Fig. 11), manteniendo pulsado el botón para iniciar el modo de regreso al punto de despegue del RPA DJI Phantom 4 Pro.



**Figura 11.** Botón de retorno a casa del control remoto del RPA DJI Phantom 4 Pro.

**Fuente:** Extraído de “Phantom 4 Pro/Pro + Manual del usuario” DJI (2020).

- Tener en cuenta que tanto el despegue como aterrizaje del RPA consumen batería, por lo que es importante fijar un límite de porcentaje de batería (recomendable el 30%) que permita asegurar el retorno del RPA al lugar de despegue. En caso el área a sobrevolar no se haya concluido, se puede cambiar de batería y continuar con los sobrevuelos. Para tener una idea de cuánta batería se consume en el aterrizaje, vuelo o despegue, se puede llevar un registro al respecto. En la pág. 47 se puede apreciar un modelo de cómo llevar un registro del desempeño de cada batería con la que se trabaje.



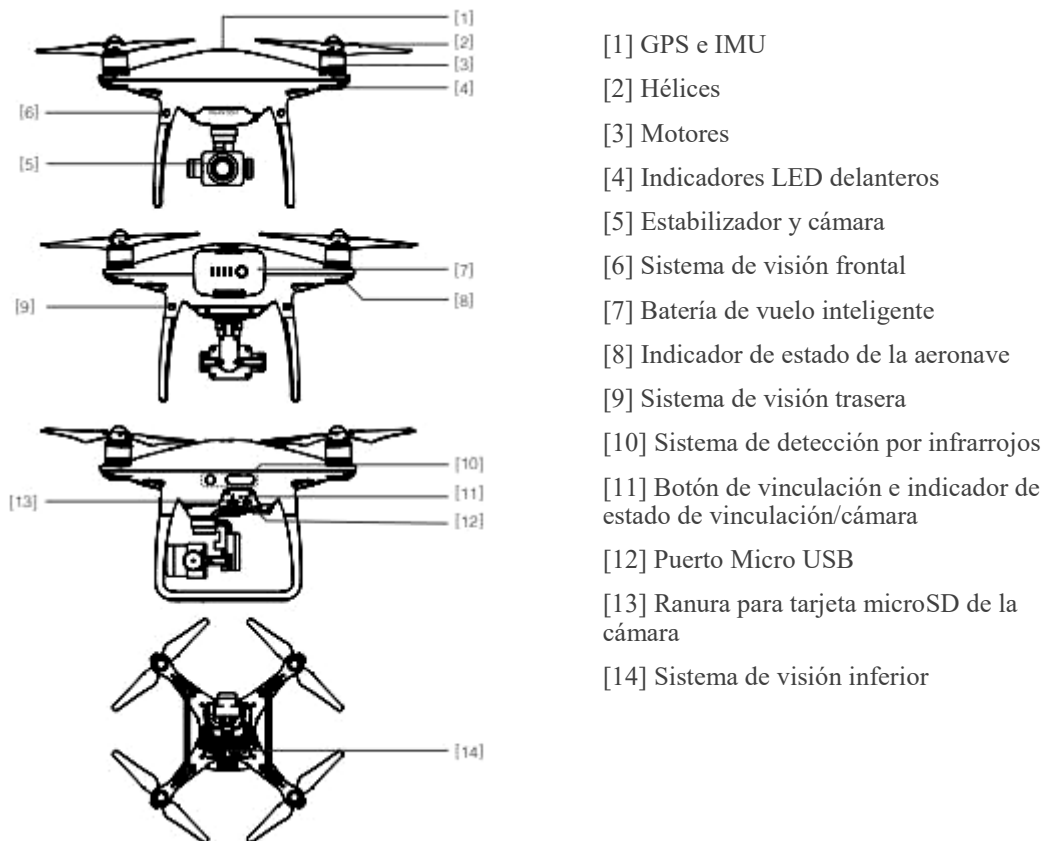
## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

Antes de utilizar el RPA DJI Phantom 4 Pro, se recomienda revisar el manual de uso que se encuentra disponible en:

[https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20200108/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_Series\\_User\\_Manual\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20200108/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_Series_User_Manual_EN.pdf)

A continuación se muestran las partes del PH4 Pro (Fig. 12):

### Partes del PH 4 PRO



**Figura 12.** Diagrama del VANT PH4 Pro.

**Fuente:** Extraído de “Phantom 4 Pro/ Pro + Manual del usuario” DJI (2020).





## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

A continuación se describen los pasos para sobrevolar el PH4 Pro:

1° Llegar al área de interés y determinar el área de despegue y aterrizaje.

La zona de despegue debe de ser un área donde haya al menos 1 m<sup>2</sup> de área libre para que el Phantom 4 Pro pueda elevarse sin ninguna dificultad. Se debe colocar un tablero de despegue para proveer mayor estabilidad al RPA y evitar dificultades al momento del despegue (Fig. 13).

Se recomienda buscar un claro que permita una mayor recepción de satélites al momento del despegue y acondicionar la zona de despegue encima de un árbol caído (remover hierbas que obstaculicen el movimiento de las hélices). De esta forma se ahorra tiempo y baterías del RPA pues el despegue es directo.



**Figura 13.** Identificación y acondicionamiento de la zona de despegue.



**Figura 14.** Georreferenciación del punto de control terrestre.

\* En el caso de que se desee mejorar la precisión de la ubicación del área de sobrevuelo y se encuentren espacios abiertos, se pueden georreferenciar algunos puntos con un GPS de alta precisión para obtener puntos de control terrestre (GCPs) (Fig. 14).

En caso de contar con el GPS Trimble Geo7X, revisar el protocolo de georreferenciación del proyecto (Tagle *et al.* 2019).



**Nota:** Estos pasos se encuentran resumidos en el **Instructivo de Vuelo** (pág. 49), el cual se recomienda sea impreso y colocado en el tablero de despegue para tenerlo siempre de referencia.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

2° Proceder a ensamblar al equipo.

Retirar el seguro de la cámara y del gimbal, colocar las hélices y asegurarse que estén bien sujetas.

3° Colocar y revisar que las baterías del RPA como del RC se encuentren cargadas (pulsar el botón de encendido una vez) (Fig. 15).

4° Alinear las antenas del RC en paralelo al RPA.

5° Revisar que la batería del iPad sea suficiente para las misiones del día.

6° Revisar que la memoria SD del RPA cuente con suficiente espacio para guardar las imágenes.

7° Utilizar el cable USB para conectar el iPad al RC.

8° Prender el RC y el RPA (pulsar el botón de encendido una vez, y luego durante 3 s).

9° En el iPad, abrir la app DJI Go para verificar la conexión con el RPA y la cantidad suficiente de satélites que permitan el despegue.

10° Colocar RC en función modo P.

11° Cerrar la app DJI Go.



**Figura 15.** a) Revisión de la batería del RPA. b) Revisión de la batería del RC.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

12° Abrir la app Pix4D capture y elegir la opción **Polygon mission** (Fig. 16).

13° Seleccionar el ícono que permite visualizar los archivos (Fig. 17).



Figura 16. Tipos de misiones en Pix4D capture.

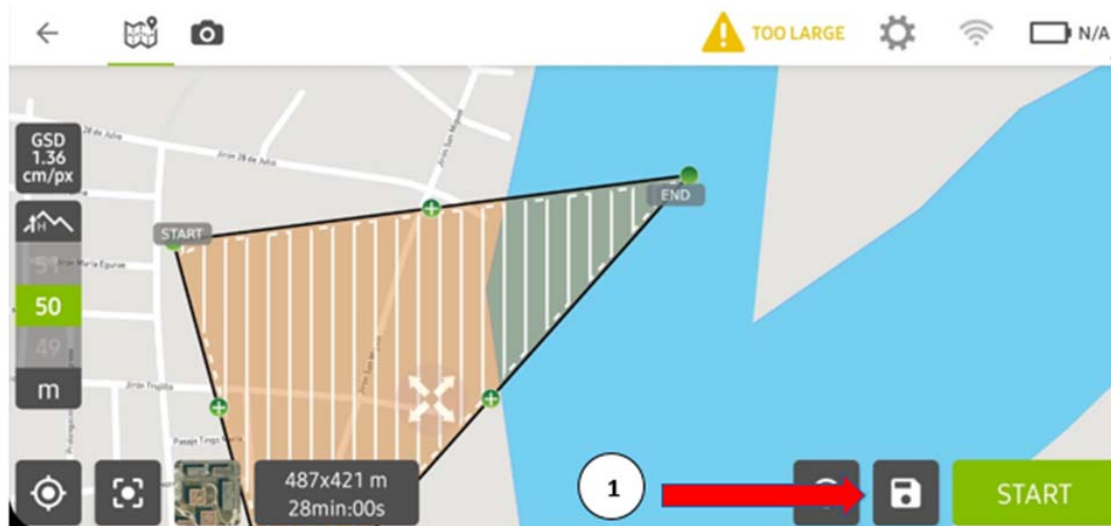
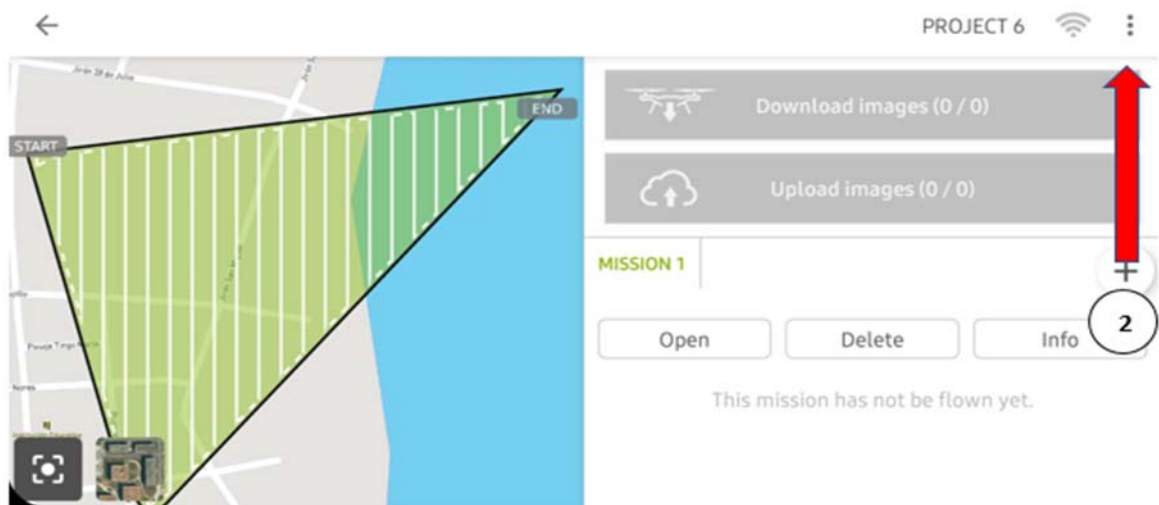


Figura 17. Ícono que permite visualizar los archivos en la app Pix4D capture.

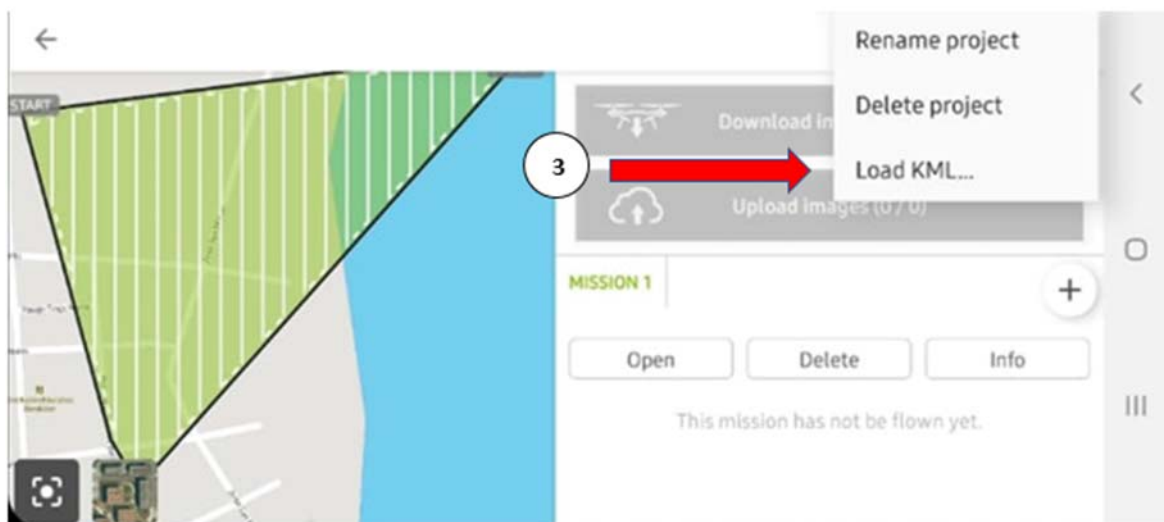


## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

13° Seleccionar los 3 puntos que se encuentran en la parte superior derecha (Fig. 18). Dar clic en “Load KML” para elegir el archivo de la misión a sobrevolar (Fig. 19).



**Figura 18.** Ícono que muestra las opciones renombrar proyecto, eliminar proyecto o cargar el archivo en formato KML.



**Figura 19.** Cargar el archivo KML.



**Nota:** la opción para cargar archivos KLM en Pix4D capture solo es posible en la aplicación para Android, esto no es posible en IOS.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

14° Una vez seleccionado el archivo, seleccionar el ícono de localización para ubicar el polígono en el área de estudio. Luego ir a la configuración para realizar los cambios necesarios y modificar la altura de vuelo desde la estación base (Fig. 20). Finalmente, de ser necesario, editar el polígono comprobando el tiempo que durará la misión.

15° Revisar que el RPA tenga dos luces verdes y dos rojas.

16° Asegurarse que las personas estén lo suficientemente alejadas.



**Figura 20.** Localización manual del área de estudio y configuración de parámetros.



**Nota:** Utilizar una velocidad media de vuelo (entre 5 y 7 m/s) para que las imágenes no sean borrosas.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

17° Dar clic en “Start” para iniciar la misión (Fig. 21).

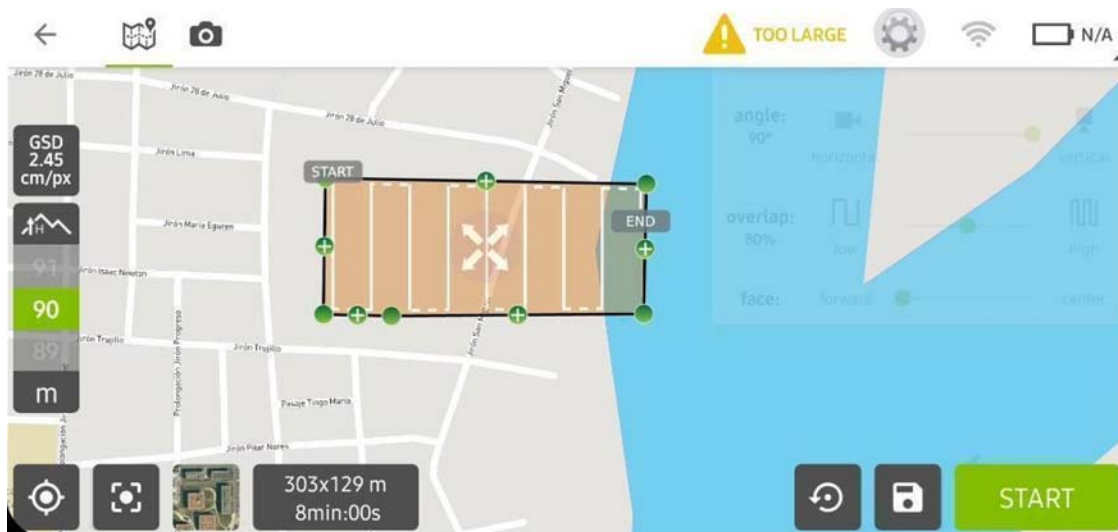


Figura 21. Start para iniciar la misión.



**Nota:** Si no es posible despegar el RPA debido a la insuficiente cantidad de satélites, se deberá realizar en modo manual.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

Antes de utilizar el RPA DJI Phantom 4 RTK, se recomienda revisar el manual de uso que se encuentra disponible en:

[https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_rtk/20200721/Phantom\\_4\\_RTK\\_User\\_Manual\\_v2.4\\_EN.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf)

A continuación se muestran las partes del PH4 RTK (Fig. 22):

### Partes del PH 4 RTK



- [1] Aeronave Phantom 4
- [2] Control remoto –RC
- [3] Cargador hub de baterías
- [4] Baterías del RC y RTK
- [5] Cargador de baterías de RC
- [6] Baterías de la aeronave
- [7] Maletín de aeronave
- [8] Hélices
- [9] Conexión a PH4 OTG
- [10] Protector de cámara
- [11] Enchufe de cargador
- [12] Cable micro USB
- [13] Tarjeta microSD
- [14] Conexión al cargador
- [15] D –RTK 2

**Figura 22.** Partes del Sistema del RPA Phantom 4 RTK.

**Fuente:** Adaptado de DJI (2020).



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

1° En gabinete: Planear la misión y grabar el polígono de vuelo en formato .kml en la carpeta del microSD DJI/KML/**NOMBRE**.kml (en software como QGIS o ArcGIS).

2° Insertar tarjeta microSD en el control remoto (Fig. 23) y seleccionar la misión a volar.



**Figura 23.** Inserción de memoria microSD en el control remoto.

3° Llegar a la zona de vuelo, identificar el área de despegue considerando que sea amplia y libre de obstáculos.

\*Se recomienda buscar un claro y acondicionar la zona de despegue encima de un árbol caído (remover hierbas que obstaculicen el movimiento de las hélices). De esta forma se ahorra tiempo y baterías del RPA pues el despegue es directo .

4° Colocar tablero de despegue en zona segura y proceder a ensamblar al equipo (Fig. 24).



**Figura 24.** Phantom 4 RTK ensamblado y en tablero de



**Nota:** Estos pasos se encuentran resumidos en el **Instructivo de Vuelo** (pág. 50), el cual se recomienda sea impreso y colocado en el tablero de despegue para tenerlo siempre de referencia.





## **SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK**

---

5° Instalar trípode y antena RTK en zona abierta para que se puedan captar los satélites sin ningún inconveniente.

6° Colocar y revisar la batería del cabezal del RTK (pulsar el botón de encendido una sola vez) y elevar la antena lo más alto posible sobre todo en zonas boscosas.

7° Encender cabezal del RTK (pulsar botón de encendido una vez, y luego mantener pulsado 3s).

8° Encender RC.

9° En la pantalla integrada al RC:

Abrir GS RTK —> Seleccionar Plan —> Elegir RTK.

10° Activar RTK function —> Seleccionar RTK Service type —> Elegir la opción D-RTK 2 Mobile Station

11° Apagar RC.

12° Proceder a ensamblar al equipo.

Retirar el seguro de la cámara y del gimbal, colocar las hélices y asegurarse que estén bien sujetas.

13° Colocar y revisar que las baterías del RPA como del RC se encuentren cargadas (pulsar el botón de encendido una vez).

14° Alinear las antenas del RC en paralelo al RPA.

15° Revisar que la SD card del RPA cuente con la suficiente cantidad de memoria para capturar las imágenes.

17° Prender el RC y el RPA PH4 RTK (pulsar el botón de encendido una vez, y luego durante 3 s).



## **SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK**

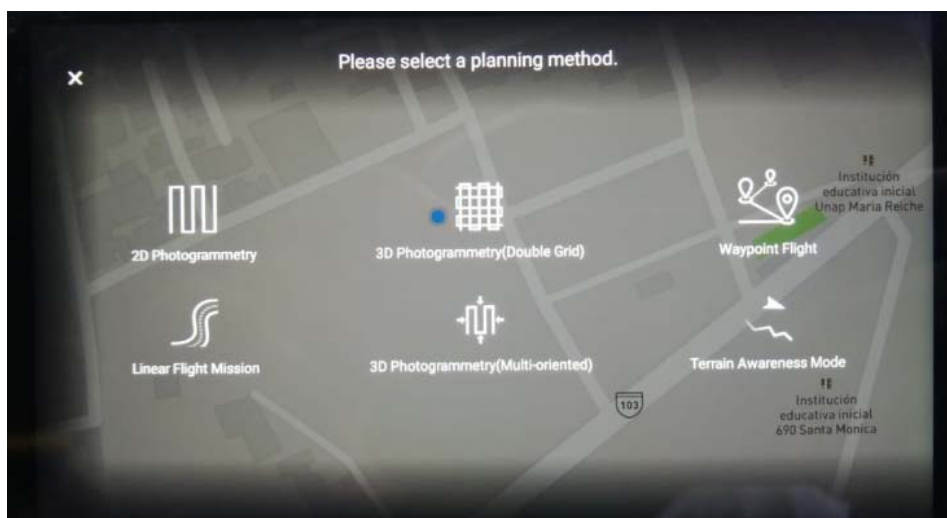
18° Abrir GS RTK en la pantalla integrada del RC y verificar que se haya establecido conexión con El RPA.

19° Revisar que exista la suficiente cantidad de satélites para despegar y la conexión RTK function.

20° Colocar RC en función modo P.

21° Abrir Plan

22° Seleccionar la opción **2D Photogrammetry** para el mapeo de áreas extensas y **3D Photogrammetry** para reconstrucción 3D (Fig. 25).



**Figura 25.** Selección del tipo de misión para mapeo de áreas extensas.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

23° Editar la altura de vuelo (Fig. 26).

\* Realizar uno o más sobrevuelos en 2D Photogrammetry a 150 m con 90° de inclinación y overlap rate de 90% (ver instructivo de vuelo en la pág. 46).



**Figura 26.** Opciones para editar la altura de vuelo.



## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

24° En la opción **Camera settings**, editar el ángulo de la cámara y seleccionar **Advanced settings** para editar el % del traslape lateral y frontal (side y forward overlap rate) (Fig. 27).

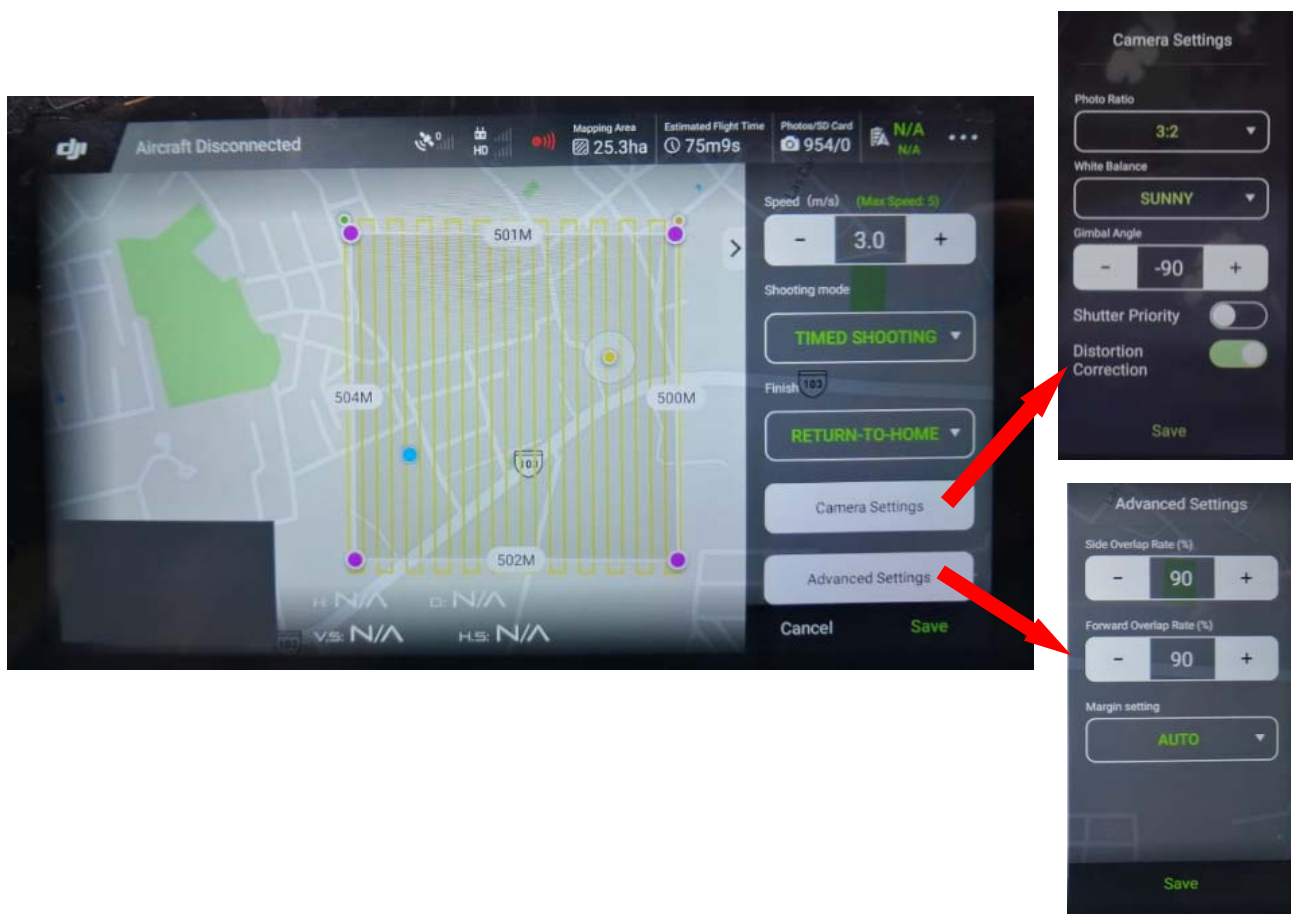


Figura 27. Opciones Camera settings y Advanced settings.



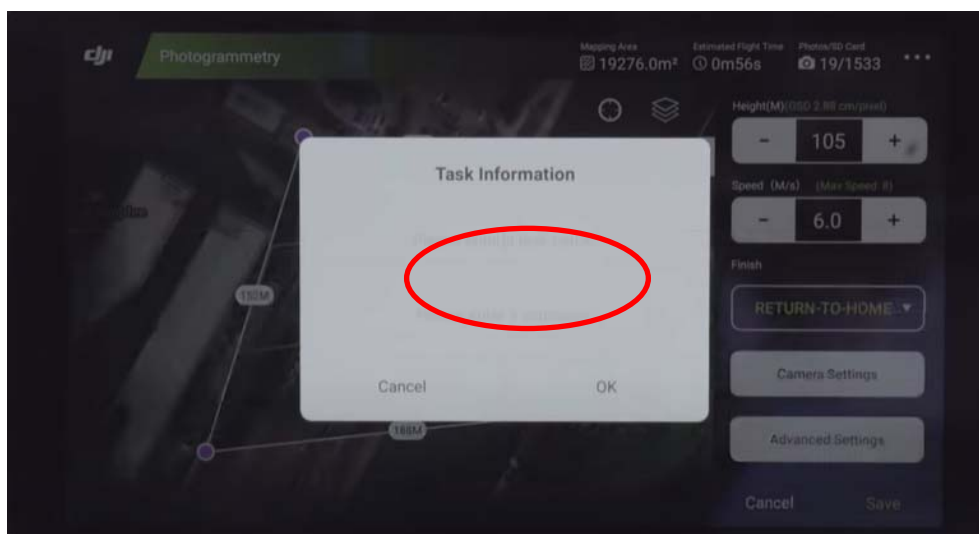
## SOBREVUELOS USANDO EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

25° Guardar todos los cambios y nombrar la misión a realizar (Fig. 28).

26° Revisar que el RPA PH4 RTK tenga dos luces verdes y dos rojas.

27° Asegurarse que las personas estén lo suficientemente alejadas del RPA.

28° Seleccionar “invoke” para despegar.



**Figura 28.** Nombrar la misión a sobrevolar.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA EL MAPEO DE ÁREAS EXTENSAS

Si bien los RPAs de la línea Phantom son pequeños y su batería no permite hacer vuelos muy largos como con RPAs de ala fija o VTOLes, es posible obtener mosaicos de áreas relativamente grandes si se realiza más de un sobrevuelo en el área de estudio (Fig. 29). La metodología recomendada a continuación, es similar tanto para el Phantom 4 Pro o Phantom 4 Pro RTK.

El mapeo de áreas extensas utilizando RPA DJI Phantom 4 RTK genera un mosaico de mejor calidad a comparación del que se genera con el RPA DJI Phantom 4 Pro. Esto se debe a que al tener incorporado el sensor RTK, las imágenes capturadas tienen mayor precisión geométrica (ver pág. 10), facilitando la ubicación de puntos en común entre imágenes de diferentes misiones por lo que se reduce el riesgo de tener dobles palmeras o áreas borrosas.

En base a los sobrevuelos realizados en campo, se recomienda adquirir entre 7 a 9 baterías de larga duración. Dependiendo de los parámetros de vuelo, se puede cubrir 100 hectáreas en 2 días de sobrevuelos constantes.

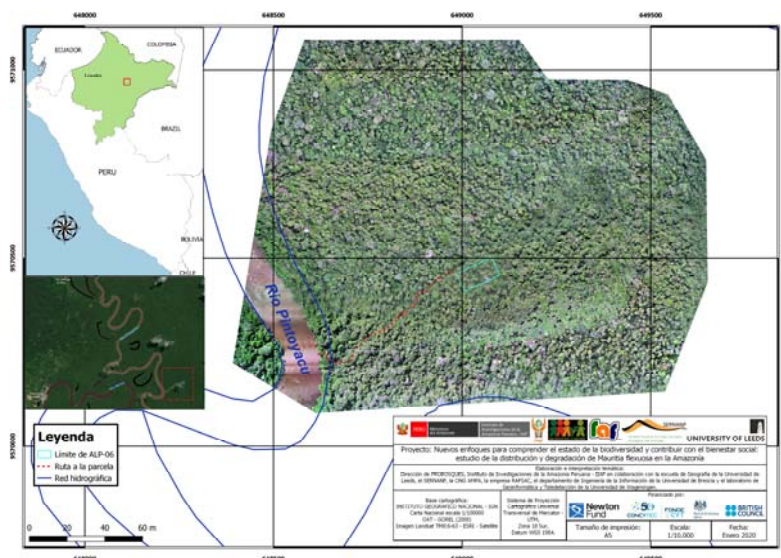


Figura 29. Ortomosaico de 100 ha de aguajal en la RR.NN Allpahuayo-Mishana.



**Nota:** Al abarcar mayor área, la labor del copiloto y del asistente es crucial ya que deben mantenerse al tanto de la ubicación del RPA para acatar la el reglamento de la DGAC (visibilidad del RPA). En estos casos, se podrá requerir de hasta dos asistentes con binoculares ubicados en puntos estratégicos para hacer seguimiento al RPA.

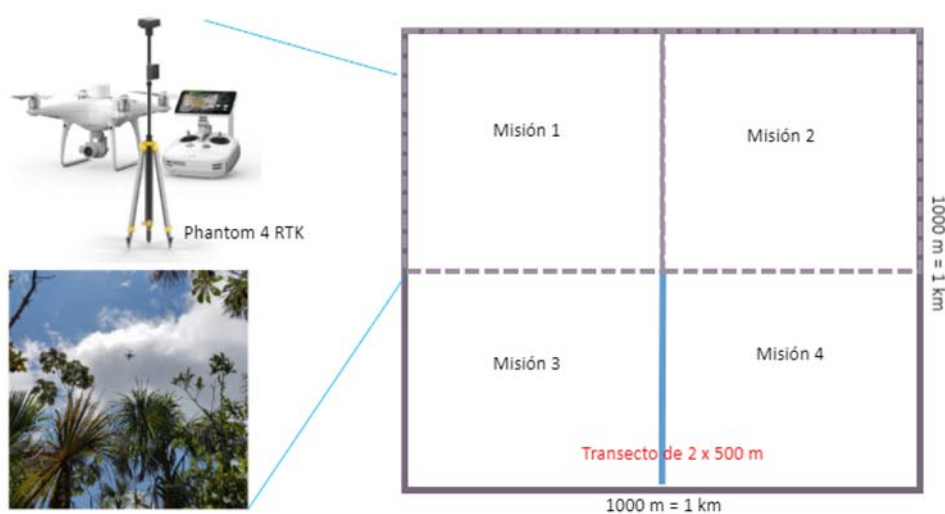


## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA EL MAPEO DE ÁREAS EXTENSAS

### DJI Phantom 4 Pro y Phantom 4 RTK

Los pasos para realizar este tipo de sobrevuelos se describen a continuación:

1° Abrir una trocha de 500 m y ubicarse en el punto medio de la zona a sobrevolar (Fig. 30).



**Figura 30.** Diagrama para el planeamiento de un sobrevuelo de 100 hectáreas.

2° Realizar uno o más sobrevuelos a 150 m de altura sobre el nivel de la estación base, con 90° de inclinación de la cámara y overlap rate de 90% (ver los pasos en las páginas de la 24 a la 29 para el Phantom 4 Pro y de la 31 a la 36 para el Phantom 4 RTK o revisar los pasos resumidos en los instructivos de vuelo de las páginas 49 y 50 respectivamente).



**Figura 31.** Despegue del RPA Phantom 4 Pro.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA EL MAPEO DE ÁREAS EXTENSAS

3° Descargar imágenes después de cada misión y verificar que las fotos sean nítidas y que cada misión tenga ligera superposición sobre el área deseada (Fig. 32).



**Figura 32.** Verificación de las imágenes obtenidas durante el sobrevuelo.

\* Se trabaja con una alta superposición o traslape entre imágenes que va de 80–90 % (overlap rate) para asegurar tener la mayor cantidad de imágenes en caso algunas de ellas presenten errores y deban removerse, pero contando con la cantidad necesaria para poder generar el mosaico sin errores.



**Nota:** Es importante que durante el sobrevuelo, las antenas del control remoto siempre se encuentren emitiendo la señal en dirección perpendicular al RPA (Fig. 33).



**Figura 33.** Control remoto durante un sobrevuelo.





## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE

En las secciones anteriores se mencionaron los parámetros de vuelo necesarios para tomar fotos que, al ser procesadas posteriormente, permitirán generar modelos 3D y ortomosaicos. Los ortomosaicos son de gran utilidad para mapear a los aguajales, en donde se pueden observar las copas de palmeras y árboles; así como otras características de la zona.

Sin embargo, si sólo se toman fotografías de la parte de arriba de las copas de palmeras y árboles, no se pueden observar otras características del dosel del bosque (ver pág. 14). Por este motivo, para tener mayor cantidad de información de la zona de trabajo, se pueden hacer vuelos complementarios con la cámara del RPA en posición oblicua para mejorar la calidad de la reconstrucción en 3D.

Para el presente proyecto, es de interés principal detectar la presencia de frutos de aguaje en cada palmera, pues sólo las palmeras hembras producen frutos. Debido a que los frutos de aguaje se encuentran en la parte baja de la copa de la palmera, es posible detectar a los frutos mediante imágenes oblicuas (Fig. 34).

A continuación se describen los pasos para conducir misiones que colectarán fotografías en diferentes ángulos para hacer reconstrucciones en 3D de los aguajales y poder visualizar en ellas los frutos de aguaje.



**Figura 34.** a) Imagen oblicuas capturadas con PH4 Pro para la detección de frutos de aguaje. b) Reconstrucción 3D de un aguajal, en donde se puede observar a los frutos de aguaje.



## **SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE**

---

### **DJI Phantom 4 Pro**

*Tomar en cuenta los pasos que se muestran en las páginas 24 a la 29 para sobrevuelos con DJI Phantom 4 Pro o los pasos resumidos en el Instructivo de vuelo de la pág. 49. A continuación se muestran las consideraciones para este tipo de sobrevuelos:*

1° Realizar un sobrevuelo a 90 m de altura sobre el nivel de la estación base, con 90° de inclinación de cámara y overlap rate de 90%.

2° Descargar imágenes y verificar que las fotos sean nítidas y sobre el área deseada (Fig. 30).

3° Realizar el siguiente sobrevuelo en la misma área; pero, a 60 m de altura sobre el nivel de la estación base\*, con 30° de inclinación de cámara y overlap rate de 90%.

4° Realizar otro sobrevuelo en la misma área, a 60 m de altura sobre el nivel de la estación base\*, con 30° de inclinación de cámara y overlap rate de 90% (ver instructivo de vuelo en pág. 45), esta vez en dirección opuesta a la dirección volada anteriormente.



**Nota:** Procurar que la diferencia entre la altura del dosel del bosque y la altura del RPA sea de 30 m como máximo para que el ángulo de la cámara logre captar los frutos. Ej.: Altura promedio dosel 30 m, 60 m de altura de vuelo sobre nivel de la estación base.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE

### DJI Phantom 4 RTK

Tomar en cuenta los pasos que se muestran en las páginas 31 a la 36 para sobrevuelos con DJI Phantom 4 RTK o los pasos resumidos en el Instructivo de vuelo de la pág. 50. A continuación se muestran las consideraciones para este tipo de sobrevuelos:

1° Al momento de planear la misión, seleccionar la opción **3D Photogrammetry (Double Grid)** (Fig. 35). Seleccionar de 90 m de altura sobre la estación base (Fig. 36).

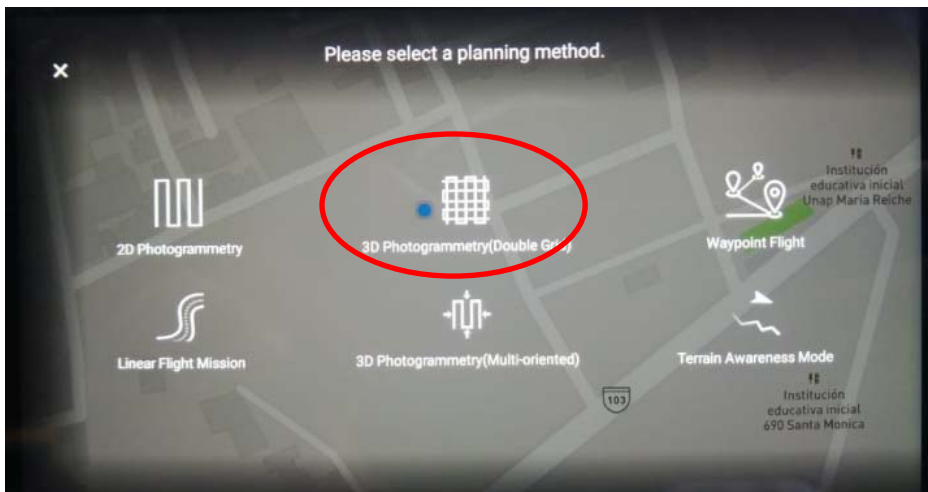


Figura 35. Selección del tipo de misión para detección de frutos de aguaje.

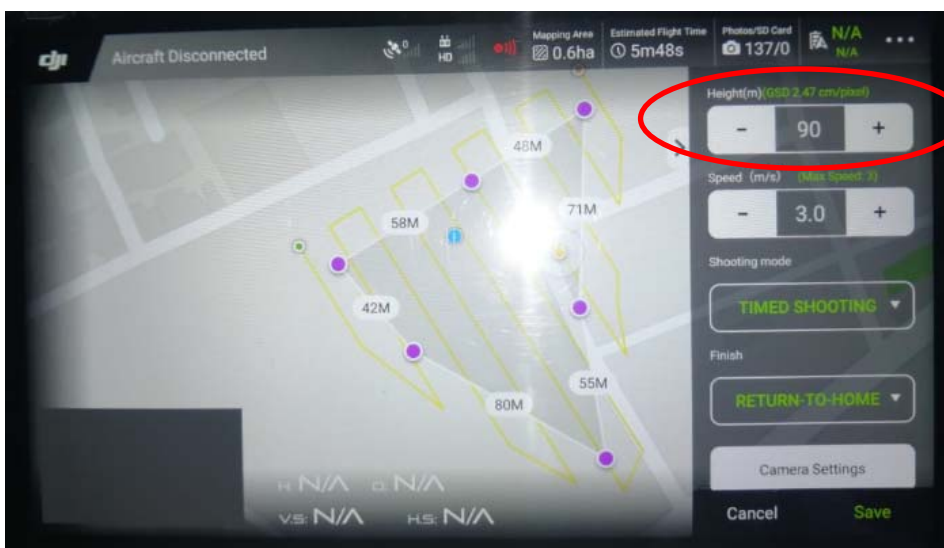


Figura 36. Selección de la altura de vuelo.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE

### DJI Phantom 4 RTK

2° Seleccionar 90 para el ángulo de inclinación de cámara (Fig. 37) y que las fotografías oblicuas se tomen con 60 m de altura sobre la estación base (Fig. 38).

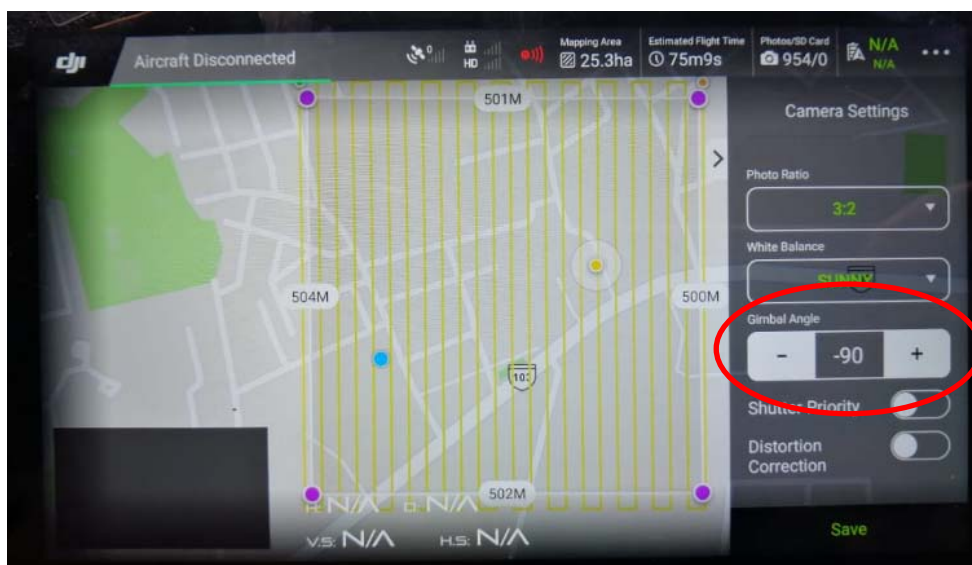


Figura 37. Selección del ángulo de cámara.

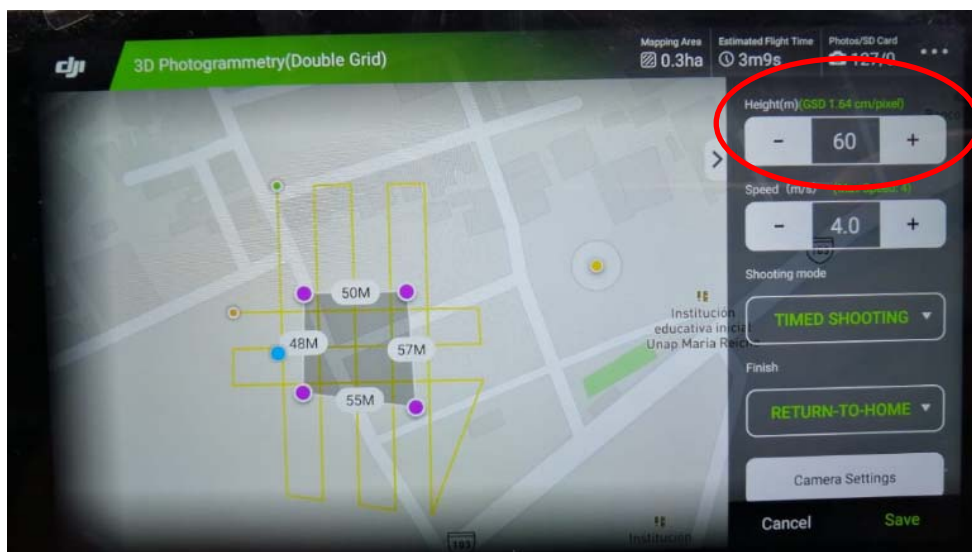


Figura 38. Selección de altura de vuelo para los sobrevuelos oblicuos.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE

### DJI Phantom 4 RTK

3° El ángulo de inclinación de cámara para las fotografías oblicuas debe ser de 45 (Fig. 39) y modificar el porcentaje del traslape lateral y frontal (side and forward overlap rate) de las fotografías perpendiculares y oblicuas al 90% (Fig. 40).

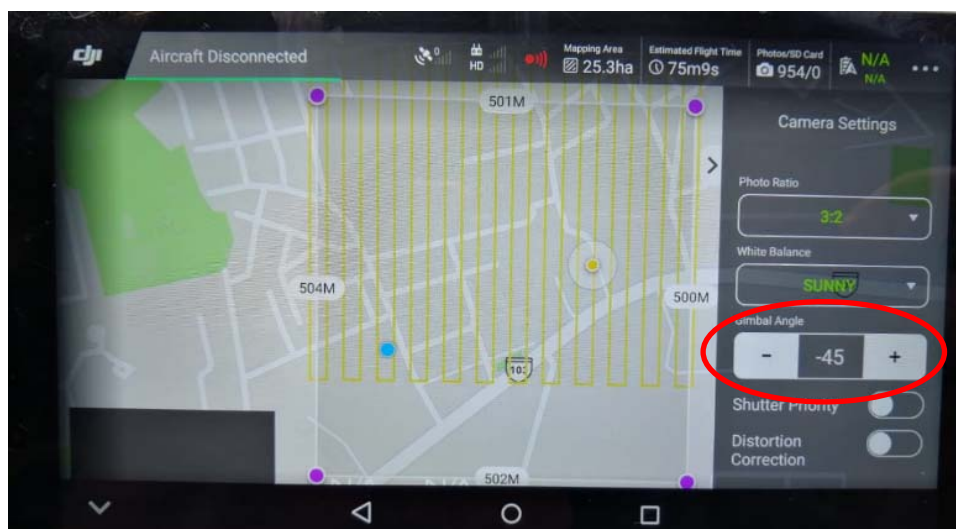


Figura 39. Selección del ángulo de cámara para las fotografías oblicuas.

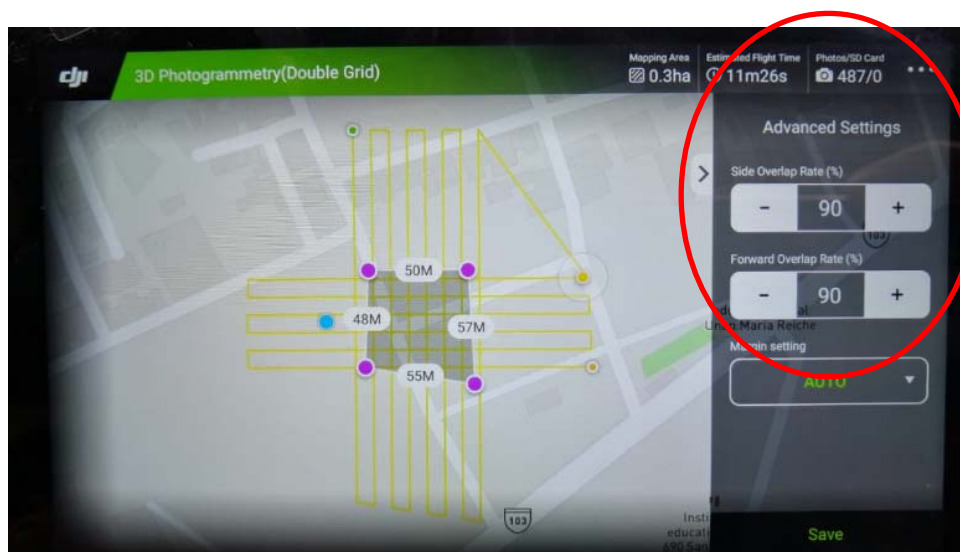


Figura 40. Selección del overlap rate para las fotografías perpendiculares y oblicuas.



## SOBREVUELOS USANDO RPAs PARA RECONSTRUCCIÓN 3D: DETECCIÓN DE FRUTOS DE AGUAJE

### DJI Phantom 4 RTK

4° Luego de establecer todos los parámetros, guardamos la misión (*Save*). Se recomienda asignar al nombre de la misión con las 3 primeras letras de la zona en mayúscula más el código del área y el número correlativo de las veces que se está volando en la zona (Fig. 41) y se presiona *Invoke* para enviar misión al PH 4 RTK (Fig. 42).

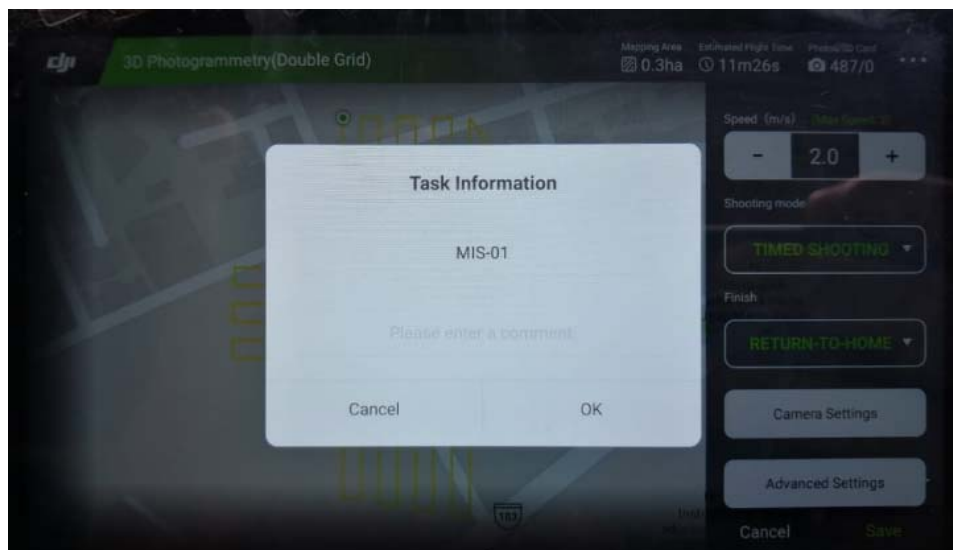


Figura 41. Guardado de la misión.



Figura 42. Misión planeada y lista para ser enviada a la aeronave.



## CHECK LIST ANTES DE IR AL CAMPO PARA EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

---

ITEM	CANTIDAD
Phantom 4 PRO	1
Baterías LiPo 4S Intelligent flight 5870 mAH	8
Bolsas ziplock de 6.5 x 7"	9
Bolsas ziplock de 12 x 18"	5
Hélices negras	6
Hélices grises	6
Control remoto	1
iPad mini 32 Gb	1
Cover de iPad resistente al agua SURVIVOR	1
Cover simple para iPad	1
Cargador Hub para 3 baterías	1
Cargador para RC y batería	1
Cargador para iPad	1
Cable conector para PH4	1
Micro SD ScanDisk 128 GB + adaptador	1
Adaptador memoria SD	1
Mochila para PH4	1
Arnés control remoto	1
Protector de cámara	1
Kit de limpieza	1
Set de desarmadores	1
Binoculares	1
Logbook	1
Bolsa de fertilizante	1
Sílica gel (bolsitas de 100 g)	6



## CHECK LIST ANTES DE IR AL CAMPO PARA EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

---

ITEM	CANTIDAD
Phantom 4 RTK	1
Baterías LiPo 4S Intelligent flight 5870 mAH	3
Bolsas ziplock de 6.5 x 7"	9
Bolsas ziplock de 12 x 18"	5
Hélices negras	4
Hélices grises	4
Control remoto	1
Baterías control remoto y antena	3
Cargador Hub para 3 baterías	1
Cargador para baterías RPA	1
Cargador para baterías RC y antena	1
Micro SD ScanDisk 128 GB para RPA	1
Micro SD ScanDisk 32 GB para RC	1
Adaptador memoria SD	1
Mochila para PH4 RTK	1
Arnés control remoto	1
Protector de cámara	1
Trípode	1
Tubo de antena	1
Cabezal de RTK	1
Mochila para RTK	1
Kit de limpieza	1
Set de desarmadores	1
Binoculares	1
Logbook	1
Bolsa de fertilizante	1
Sílica gel (bolsitas de 100 g)	6





## CHECK LIST PARA EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

---

KIT DE LIMPIEZA	✓
Brocha pequeña	
Paños húmedos	
Franela delgada (pañó limpia pantalla)	
Hisopos	
Pera de presión	
Solución líquida de limpieza	



## INSTRUCTIVO DE VUELO PARA EL RPA DJI PHANTOM 4 PRO

ACTIVIDAD	
<b>ANTES DE PRENDER RPA</b>	√
Colocar tablero de despegue en zona segura	
Remover seguro del gimbal de la cámara	
Colocar hélices	
Asegurar que hélices estén sujetas	
Revisar batería RPA	
Revisar batería RC	
Alinear antenas del RC (en paralelo)	
Revisar batería iPad	
Revisar SD card, suficiente memoria	
iPad conectada a RC	
Prender RC	
****Prender PH4****	
<b>UNA VEZ PRENDIDO</b>	√
Abrir DJI go para verificar conexión con PH4	
Revisar satélites de GPS	
Colocar RC en función modo P	
Abrir Pix4D capture para planear/seleccionar la misión	
Revisar ángulo de la cámara (90° para ortomosaicos, 45° tomas 3D)	
Revisar altura de vuelo y traslape de imágenes	
Cerrar DJI go	
Revisar que el PH4 tenga dos luces verdes y dos rojas	
Personas alejadas suficientemente	
****Despegar****	



## INSTRUCTIVO DE VUELO PARA EL RPA DJI PHANTOM 4 RTK

<b>ACTIVIDAD</b>	
<b>ANTES DE PRENDER PH4 RTK</b>	√
Colocar tablero de despegue en zona segura	
Revisar batería cabezal RTK	
Encender cabezal RTK	
Instalar trípode y antena RTK en zona abierta	
Encender RC	
Abrir GS RTK -> Plan -> RTK	
Activar RTK function -> RTK Service type D-RTK 2 Mobile Station	
Apagar RC	
Remover seguro de gimbal de la cámara	
Colocar hélices	
Asegurar que hélices estén sujetas	
Revisar batería RPA	
Revisar batería RC	
Alinear antenas del RC (en paralelo)	
Revisar SD card, suficiente memoria	
Prender RC	
****Prender PH4 RTK****	
<b>UNA VEZ PRENDIDO</b>	√
Abrir GS RTK y verificar conexión con PH4	
Revisar satélites de GPS y conexión de RTK function	
Colocar RC en función modo P	
Abrir plan	
Revisar ángulo de la cámara (90° para ortomosaicos, 45° tomas 3D)	
Revisar altura de vuelo y traslape de imágenes	
Guardar misión	
Revisar que el PH4 tenga dos luces verdes y dos rojas	
Personas alejadas suficientemente	
****Despegar (Invoke)****	

## EJEMPLO DE FORMATO DE REGISTRO DE MISIONES (LOGBOOK)

ID Vuelo	Fecha	Hora	Piloto	Copiloto	Aeronave	Nombre de la misión	Tipo de Misión	Velocidad /Dirección viento	Condición de Iluminación	ID Bateria	Batería inicial RPA	Batería inicio de misión RPA	Batería final de misión RPA	Batería final RPA	Batería inicial RC	Batería final RC	Altura sobre la estación base (m)	Ángulo de cámara (°)
	dd/mm/aaa	hh:mm	Iniciales	Iniciales	Nombre/ID			m/s / dir			V0 (%)	V1 (%)	V2 (%)	Vf (%)	V0 (%)	Vf (%)		
79	5/22/2018	13:33	XTC	JFN	Phantom 4 Pro	ARA-01-01	RGB	> 5	PN	2	99	96	50	45	90	85	100	90

Abreviatura	Condiciones de iluminación
S	Soleado
PN	Parcialmente Nublado
N	Nublado

## BIBLIOGRAFÍA

---

- ◆ Burgoin, C.; Betbeder, J.; Couteron, P.; Blanc, L.; Dessard, H.; Oszwald, J.; Le Roux, R.; Cornu, G.; Reymondin, G.; Mazzei, L.; Sist, P.; Läderach, P. y Gond, V. 2020. UAV-based canopy textures assess changes in forest structure from long-term degradation. *Ecological indicators* 15 (2020) 106386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106386>
- ◆ Claros, A. 2019. Estimación del volumen de fuste a partir de fotografías aéreas captadas desde un VANT en el distrito de Chanchamayo, Junín.
- ◆ Conservación amazónica. 2018. Monitoreo de deforestación y tala ilegal. Recuperado de: <https://maaproject.org/2018/drones/>
- ◆ Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). 2015. Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves pilotadas a distancia (NTC 001-2015).
- ◆ DJI. 2017. Phantom 4 Pro/ Pro + Manual del usuario. [https://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_pro/20170719/Phantom\\_4\\_Pro\\_Pro\\_Plus\\_User\\_Manual\\_ES.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_ES.pdf)
- ◆ DJI. 2018. Phantom 4 RTK User manual. [http://dl.djicdn.com/downloads/phantom\\_4\\_rtk/20181015/Phantom\\_4\\_RTK\\_User\\_Manual\\_v1.4\\_EN\\_en.pdf](http://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20181015/Phantom_4_RTK_User_Manual_v1.4_EN_en.pdf)
- ◆ Dunford, R.; Michel, K.; Gagnage, M.; Piégay, H. y Trémelo, M. 2009. Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*. 30:19, 4915-4935, DOI: 10.1080/01431160903023025
- ◆ Galán, A. 2017. Métodos de estimación de viento en UAVs. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60403/fichero/M%C3%89TODOS+DE+ESTIMACI%C3%93N+DE+VIENTO+EN+UAVs.pdf>
- ◆ González, P. 2015. Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf>
- ◆ International Civil Aviation Organization (ICAO). 2015. Manual of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). <https://skybrary.aero/bookshelf/books/4053.pdf>
- ◆ Paíz, P. 2017. Uso de drones para el monitoreo de cambios de coberturas detectados por Terra-i en Yurimaguas, Perú. <http://www.terra-i.org/es/news/news/Drone-monitoring-of-land-cover-changes-detected-by-Terra-I-in-Yurimaguas--Peru.html>

## BIBLIOGRAFÍA

---

- ◆ Prieto, V. 2019. Estudio aerodinámico en túnel de viento de un UAV VTOL-CP para misiones SAR (proyecto EMERGENTia). [http://aero.us.es/sesteban/pdf/PFC/VTOL/Aerodinamica/TFG\\_Victoria\\_Prieto/TFG\\_Victoria\\_Prieto.pdf](http://aero.us.es/sesteban/pdf/PFC/VTOL/Aerodinamica/TFG_Victoria_Prieto/TFG_Victoria_Prieto.pdf)
- ◆ Ribeiro, A. 2003. Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. <http://www.iai.csic.es/users/gpa/postscript/Pozo-Ruz00a.pdf>
- ◆ Salamí, E.; Barrado, C. y Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11051–11081. <https://doi.org/10.3390/rs6111051>
- ◆ Sharma, J. 2019. Applications of Small Unmanned Aircraft Systems: Best practices and case studies. <https://books.google.nl/books?id=0UW4DwAAQBAJ&lpg=PA279&dq=good%20practices%20flying%20uavs%20science%20direct&pg=PR4#v=onepage&q&f=false>
- ◆ Tagle Casapia, X. 2017. Study of radiometric variations in Unmanned Aerial Vehicle remote sensing imagery for vegetation mapping, Lund University.
- ◆ Tagle Casapia, X.; Di Liberto, S.; Benavides, J. 2019. Manual del procesamiento de imágenes del PH4 para el mapeo de vegetación en Pix4Dmapper Pro (Generación de ortomosaicos y DSMs). [https://www.researchgate.net/publication/339028663\\_Manual\\_del\\_procesamiento\\_de\\_imagenes\\_del\\_PH4\\_para\\_el\\_mapeo\\_de\\_vegetacion\\_en\\_Pix4Dmapper\\_Pro\\_Generacion\\_de\\_ortomosaicos\\_y\\_DSMs](https://www.researchgate.net/publication/339028663_Manual_del_procesamiento_de_imagenes_del_PH4_para_el_mapeo_de_vegetacion_en_Pix4Dmapper_Pro_Generacion_de_ortomosaicos_y_DSMs)
- ◆ Tagle Casapia, X.; Di Liberto, S.; Flores, G.; Benavides, J.; Davila, A.; Del Águila, C.; Del Castillo, D. 2020. Protocolo de Georeferenciación del GPS Trimble Geo 7x.
- ◆ Tagle Casapia, X.; Falen, L.; Bartholomeus, H.; Cárdenas, R.; Flores, G.; Herold, M.; Coronado, E.N.H.; Baker, T.R. 2019. Identifying and Quantifying the Abundance of Economically Important Palms in Tropical Moist Forest Using UAV Imagery. *Remote Sens.*, 12, 9.
- ◆ Torres, J.; López, F.; Serrano, N.; Arquero, O. y Peña, J. 2015. High-throughput 3-D monitoring of agricultural-tree plantations with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. *PLoS ONE*, 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130479>.
- ◆ Vallhonrat, L. 2017. Efectos de las interferencias electromagnéticas en la operativa de drones. Universidad politécnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108590/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



