



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma



UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero

CÁTEDRA DE TELEDETECCIÓN

LOS DRONES Y SUS APLICACIONES A LA INGENIERÍA



Equipo docente Ing. Ftal. Fabian Reuter
Ing. Ftal. Amilcar Pedenovi

Marzo 2019

Reuter, Fabian

Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería / Fabian Reuter ; Amilcar Pedenovi. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-67-6

1. Ingeniería. 2. Cartografía Digital. 3. Bosques. I. Pedenovi, Amilcar II. Título
CDD 620

LOS DRONES Y SUS APLICACIONES A LA INGENIERÍA

Introducción	3
Evolución	3
Aspectos reglamentarios	6
Ventajas de los drones	7
Clasificación de Drones	8
Clasificación de los drones según su uso	9
Clasificación de los drones según el método de control	9
Clasificación de los drones según su forma de sustentación	10
PARTES DE UN DRON	13
Marco (frames)	13
Batería	13
Motores y Hélices	14
Radio receptor (mando)	14
Sistema de Posicionamiento Global "GPS"	15
Visión en primera persona "visores de realidad virtual o FPV"	15
Controlador de vuelo/ placa controladora	16
Estabilizadores de imagen (Gimbal)	16
Sensores a bordo de los drones – Cámara	17
APLICACIONES CARTOGRAFICAS	19
Introducción	19
Obtención de datos	19
Proceso de gabinete - Correlación de imágenes	20
Perfiles del terreno	22
Resultados finales	23
Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT)	24
Mapa topográfico	25
Usos del suelo	26
Conclusiones	26
Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos Naturales	26
Introducción	26
Ventajas de los Drones en la prospección y explotación de recursos mineros	27
Aplicaciones en Agricultura y Plantaciones Forestales	30
Agricultura de precisión y Drones	30
¿Dron, avión o satélite ?	35
Aplicación al relevamiento de Bosques	37
Introducción	37
Análisis de las imágenes	38
Incendios Forestales	40
Reforestaciones	41
Tareas de control	42
PROCEDIMIENTO DE TRABAJO CON DRONES	42
1.- PLANIFICACIÓN DE VUELO	42
Mission Planner	43
Pix4d Capture	43
DroneDeploy	44
2.- APOYO TERRESTRE	46

Receptor GNSS	46
Estación total	47
3.- REGISTRO FOTOGRÁFICO	48
4.- PROCESADO DE LAS IMÁGENES Y CÁLCULOS	48
Importar Imágenes	49
Orientación de imágenes	51
Puntos de control	52
Nube densa de puntos	52
Malla	52
Textura	53
MDE – MDT	53
Ortomosaico	54
Reporte Final	55
Conclusiones Finales	61
BIBLIOGRAFÍA	63

LOS DRONES Y SUS APLICACIONES A LA INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN

Los drones han causado gran furor últimamente porque son aeronaves pequeñas que pueden controlarse fácilmente desde un teléfono inteligente y porque son capaces de portar cámaras u otros dispositivos y sensores eléctricos, razón por la que se les usa en un sinnúmero de proyectos científicos y comerciales.

Muchas personas piensan que los drones son una tecnología reciente, pero han sido ampliamente utilizados desde hace más de 50 años, y su desarrollo se remonta a poco más de 100; eso sí, con una historia casi completamente circunscrita al área militar, hecho que provocó que su uso y funciones en las guerras se ocultaran para tener ventajas sobre el enemigo.

A grandes rasgos se puede decir que la historia de los drones empezó en la Primera Guerra Mundial y se usaban como simples objetos de entrenamiento ya que la tecnología de ese momento no permitía que fueran precisos. Después, como podían llevar cámaras se usaron para espionaje y hoy son armas letales utilizadas en ataques selectivos, lo que los ha convertido en una de las herramientas favoritas de los ejércitos de numerosos países.

En la acepción más amplia del término, la aviación no tripulada abarca un amplio espectro de aeronaves.

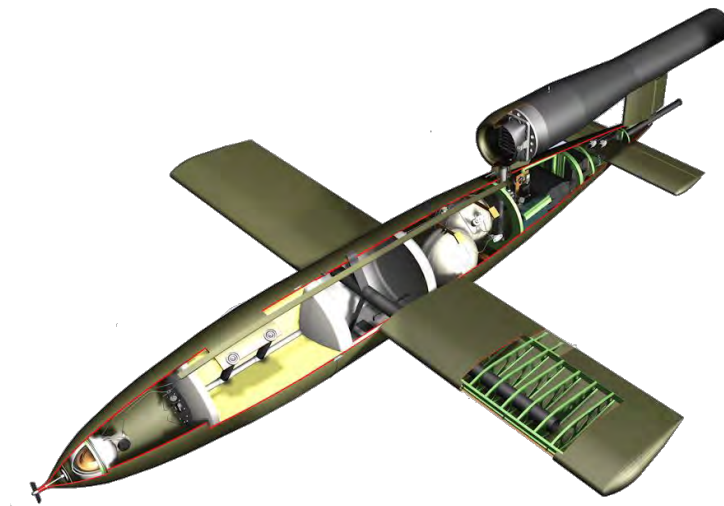
El término vehículo aéreo no tripulado (en español VANT), Unmanned Aerial Vehicle, (en inglés UAV), se hizo común en los años 90 para describir a las aeronaves robóticas.

El Ministerio de Defensa de los Estados Unidos define UAV como, un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, y que puede transportar una carga letal o no.

EVOLUCIÓN

Durante la Segunda Guerra Mundial Alemania desarrolló un UAV, el cual demostró las posibilidades que ofrecen en combate.

Al principio de la Segunda Guerra Mundial, Adolf Hitler encargó crear una bomba voladora, más conocido como V-1.



Bomba V1 Alemana

La gran efectividad y amenaza de los UAV alemanes, impulsó que Estados Unidos desarrollara sus propios UAV.

Durante la Guerra Fría, en la década de los 60, se desarrollaron aviones militares con sistemas de propulsión a reacción.

Posteriormente, fueron equipados con cámaras para misiones de reconocimiento sobre territorio enemigo. Estas aeronaves operaban a grandes altitudes.

Posteriormente, durante la Guerra del Vietnam, se utilizaron por el ejército estadounidense vehículos controlados por radio para volar, en trayectorias definidas previamente, sobre el campo enemigo captando imágenes. Es en esta época cuando se populariza la palabra drone en inglés, cuyas traducciones al español es: zángano.



Sistemas no tripulado utilizado durante la Guerra Fría.

Durante los años 70 hubo un auge de misiones diseñadas para reconocimiento y vigilancia tanto de corto alcance, como de largo alcance y elevada altitud. Con la presión de la intensificación de la Guerra Fría, estos sistemas se fueron haciendo más sofisticados tanto en los requisitos de misión como en la seguridad de sus comunicaciones.



Dron Raven para misiones de reconocimiento y vigilancia remota,

Otro paso adelante llevado a cabo en esta década fue la constatación de que, cuando las misiones de reconocimiento militar detectaban la existencia de fuerzas enemigas contra las que era necesario atacar, para cuando era posible organizar un ataque terrestre, la fuerza enemiga se había trasladado a una posición menos favorable para el ataque. Así, algunos de UAV de medio y largo alcance fueron modificados para llevar armamento para una respuesta inmediata. Un ejemplo de lo anterior es la versión posterior del Predator B, alargada y más fuertemente armada conocida como Reaper, que se muestra en las imágenes a continuación.



Sistema de control y Dron Reaper

Actualmente, el abaratamiento en los costos de los equipos electrónicos debido a la encarnizada competencia por el desarrollo e innovación de los teléfonos inteligentes, junto con la eliminación de costos excesivos en sensores, softwares, baterías, fuselajes, tamaño, etc., dio paso a la apertura del mercado de los drones, y ahora es posible conseguir aparatos pequeños, silenciosos, ágiles y complejos, con todo tipo de cámaras.

Dejando a un lado los usos bélicos tanto defensivos como ofensivos, estos equipos ofrecen amplias posibilidades de aplicación al sector de la ingeniería: inspecciones de infraestructuras, investigación atmosférica, levantamientos topográficos, filmación de películas y fotografías, cultivos de precisión, control de caza, localización focos de incendios, control medioambiental, gestión de riego y desastres naturales, etc.

ASPECTOS REGLAMENTARIOS

La era de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) exclusivamente para fines militares ya es historia. Hoy en día las principales empresas tecnológicas están poniendo especial énfasis en este sector, reconociendo el gran impacto que puede tener en la sociedad.

Disponer de una regulación adecuada es un elemento clave para el desarrollo seguro y ordenado del sector, dando seguridad jurídica, lo que facilita la inversión y favorece la profesionalización del sector.

Las características del sector de las aeronaves pilotadas por control remoto hacen que formular una regulación para el mismo sea una tarea compleja. Se pueden encontrar en el mercado con gran disparidad de características y prestaciones, con tamaños que pueden ir desde unos gramos hasta varias toneladas, y con diferentes velocidades de desplazamiento que pueden ir desde las típicas de un ciclomotor o un automóvil hasta las de un avión a reacción. Además, todas ellas con sistemas de control que van desde los completamente manuales a los completamente automáticos. Por todo ello, es aconsejable establecer unos requisitos que sean proporcionales a los riesgos asociados a cada caso.

Por otra parte, muchos de los operadores y pilotos de estas aeronaves, en particular los de las de menor tamaño, han sido ajenos hasta ahora al sector aeronáutico, y no están familiarizados con las normas básicas del mismo, ni con los riesgos a los que van a estar expuestos en sus actividades, ni aquéllos a los que pueden exponer a terceros. Resulta pues aconsejable un esfuerzo específico de formación de las leyes que regulan la actividad.

De acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), "El hecho de que la aeronave sea tripulada o no tripulada no afecta a su condición de aeronave. Cada categoría de aeronave tendrá posiblemente versiones no tripuladas en el futuro. Es decir, que las aeronaves no tripuladas son, ante todo, aeronaves, y por tanto están sujetas a las mismas reglas y limitaciones que las aeronaves tripuladas.

En todo caso, las aeronaves autónomas plantean problemas importantes para garantizar la seguridad (cómo evitar accidentes) y sobre todo para asignar la responsabilidad en caso de accidente (de quién es la culpa).

Además, estas aeronaves utilizan tecnologías novedosas, que están en constante evolución, lo que hará necesaria una actualización continua de la normativa, de manera que mantenga su adecuación con las posibilidades técnicas de aquéllas.

A continuación se resume el texto de algunos artículos de la reglamentación vigente en argentina.

En Argentina la Administración Nacional De Aviación Civil (ANAC), publicó en el Boletín Oficial la Resolución ANAC N° 527/2015, por la cual se aprueba el Reglamento Provisional de los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT).

La ANAC es la autoridad aeronáutica competente, responsable de regular y fiscalizar las operaciones aéreas en el ámbito indicado.

El uso y la operación de los vehículos aéreos no tripulados dentro del ámbito de aplicación indicado, deberá realizarse conforme a las previsiones y dentro de los espacios aéreos segregados previamente autorizados por la ANAC.

Todo sujeto que pretenda operar un vehículo aéreo pilotado a distancia o un sistema de vehículos aéreos pilotados a distancia deberá contar con una autorización expedida por la ANAC, con excepción de los vehículos pequeños con fines deportivos o recreativos.

Se prohíbe la operación de vehículos aéreos pilotados a distancia en:

- a) espacios aéreos controlados, corredores visuales y helicorredores; excepto que previamente se haya obtenido una autorización especial de la autoridad aeronáutica.*
- b) áreas sensibles al ruido; dentro del área de influencia de la senda de aproximación o de despegue de un aeródromo; zonas prohibidas, restringidas y/o peligrosas que se hayan establecido como tales; excepto que previamente se haya obtenido una autorización especial de la autoridad aeronáutica.*

Los vehículos aéreos pilotados a distancia o sistemas de vehículos aéreos pilotados a distancia estarán limitados para operar hasta una altura máxima de CIENTO VEINTIDOS (122) metros (400 pies) sobre el nivel del terreno.

Durante toda la operación de un vehículo aéreo pilotado a distancia, deberá mantenerse visibilidad directa y continua de aquél.

La operación de un vehículo aéreo pilotado a distancia será responsabilidad de quienes la lleven a cabo o faciliten, incluyendo la responsabilidad por los daños y perjuicios que puedan provocar a terceros durante sus operaciones.

Los vehículos aéreos pilotados a distancia operarán exclusivamente en horario diurno y en condiciones meteorológicas visuales que permitan su operación segura, la autoridad aeronáutica podrá conceder autorizaciones especiales para la operación nocturna.

Régimen de los vehículos aéreos no tripulados pequeños con fines recreativos o deportivos

Los miembros de la tripulación remota de un vehículo aéreo pilotado a distancia de esta categoría deberán ser mayores de 18 años de edad.

Todo miembro de la tripulación remota de un vehículo aéreo pilotado a distancia deberá adoptar las medidas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento del vehículo aéreo antes de iniciar su uso.

La operación será responsabilidad de quienes la lleven a cabo o faciliten, incluyendo la responsabilidad por los daños y perjuicios que puedan provocar a terceros durante sus operaciones.

Ningún miembro de la tripulación remota participará en su operación bajo los efectos del alcohol o drogas.

Los vehículos aéreos pilotados a distancia deberán inscribirse en un registro especial, que será organizado y administrado por el Registro Nacional de Aeronaves.

Los vehículos aéreos pilotados a distancia deberán llevar una placa de identificación inalterable fijada a su estructura que indique: su identificación, su número de serie o de manufactura y el nombre y domicilio del propietario y del operador

VENTAJAS DE LOS DRONES

El hecho de que la tripulación del avión se quede en tierra significa que la aeronave puede ser mucho más pequeña, lo que normalmente se traduce en una reducción del costo de fabricación, mantenimiento y operación de la aeronave y, por tanto, del costo de la hora de vuelo.

El menor tamaño también resulta en unas menores necesidades logísticas. Los drones de tamaño reducido se pueden desplegar desde terrenos no preparados, sin

utilizar ningún tipo de infraestructura aeroportuaria, lo que puede resultar crítico en situaciones de emergencia y en general ahorra notablemente los costos de operación. Por el contrario, el pequeño tamaño impone algunas limitaciones importantes como son la capacidad de carga, la autonomía y, muy notablemente, las condiciones meteorológicas que pueden soportar, especialmente el viento. Es evidente que no existe ninguna limitación al tamaño posible de los drones, que pueden ser tan grandes como las aeronaves tripuladas.

CLASIFICACIÓN DE DRONES

Existen muchas posibles formas de clasificar los drones.

En el siguiente diagrama se plantea una posible clasificación simplificada que muestra los principales tipos de drones:



Clasificación de los drones según su uso

Basicamente tenemos los drones militares y los orientados a uso civil. Como tantas otras tecnologías, el desarrollo inicial de los drones ha tenido lugar fundamentalmente en el ámbito militar. Donde ya han alcanzado un grado de madurez notable, constituyen ya alrededor de un tercio del total de la flota de aeronaves en operación y desempeñan en exclusiva todas las misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento que llevan a cabo las fuerzas armadas, habiendo desplazado totalmente a los medios aéreos convencionales.

En el caso de sistemas civiles, los más usados están basados en aeronaves de ala rotatoria, donde superan ampliamente a los de otros tipos.

Clasificación de los drones según el metodo de control

En esencia sólo existen cuatro modos posibles de operación en cuanto a la forma de pilotar una aeronave de forma remota:

1. Modo manual:

En este modo, el piloto remoto actúa sobre las superficies de control y la potencia del motor o motores, a través de una emisora de radiocontrol.

2. Modo asistido:

Es similar al modo manual, pero el piloto remoto no actúa directamente sobre las superficies de control o los motores, sino que indica sus intenciones (girar a la derecha, subir, etc.) en su puesto de radiocontrol y actúa un autopiloto que las transforma en actuaciones sobre las superficies de control o los motores que consigan ese propósito.

3. Modo automático:

El piloto remoto establece un “plan de vuelo”, es decir, un cierto número de puntos de paso (“waypoints”) de forma previa al inicio del vuelo. La aeronave cuenta con un autopiloto que ejecuta el plan previsto, realizando de forma automática las acciones requeridas en cada momento. Sin embargo el piloto mantiene el control en todo momento, pudiendo modificar los puntos de paso durante el vuelo, ejecutar maniobras predeterminadas (como por ejemplo la “vuelta a casa” en caso de alerta) o incluso tomar el control directamente, bien sea de forma manual o asistida.

4. Modo autónomo:

Generalmente es similar al modo anterior, en cuanto que se establece un plan de vuelo predeterminado, pero una vez iniciado el vuelo la aeronave ejecuta el plan de forma totalmente autónoma, sin requerir la intervención del piloto incluso en caso de producirse situaciones de emergencia. En el futuro es posible que incluso se elimine la necesidad de introducir plan de vuelo alguno, sino que la aeronave simplemente realice la misión completa, como puede ser seguir una infraestructura lineal mediante reconocimiento óptico, o dirigirse a un cierto punto evitando posibles obstáculos en el camino, etc.

Como se ha comentado anteriormente, por definición un dron sólo puede funcionar en alguno de los tres primeros modos, no estando permitido el modo autónomo excepto en un caso de emergencia derivado de la pérdida de comunicaciones entre el piloto y la aeronave.

Es evidente que los dos primeros modos, especialmente el primero, requieren que la aeronave se encuentre a la vista del piloto o, por lo menos, que transmita información

suficiente como para que el piloto cuente con suficiente conocimiento de la situación de la aeronave y de su entorno como para poder tomar las decisiones adecuadas en cada momento. Por esta razón los modos manual y asistido suelen estar restringidos a los escenarios de vuelo en línea de vista visual.

Por otra parte se destaca el hecho de que el modo manual sólo se utiliza normalmente en las aeronaves de ala fija. Las de ala rotatoria, especialmente en el caso de los multirrotores, suelen utilizarse en modo asistido, por la dificultad de un piloto humano de coordinar todas las acciones requeridas para mantener la aeronave en equilibrio. Por esta razón existe una tendencia a utilizar de forma exclusiva Drones en modo automático, o por lo menos en una forma de modo asistido en la que el piloto recibe una imagen tomada por una cámara dirigida hacia adelante, denominada visión en primera persona ("first person view" o FPV), lo que le permite actuar como si estuviera embarcado en ella,

Sin embargo, el modo automático resulta también muy indicado en vuelos en línea de vista en para misiones rutinarias, como por ejemplo la realización de un levantamiento cartográfico mediante técnicas de fotogrametría. La principal ventaja que proporciona el modo automático es la posibilidad de utilizar pilotos de menor capacitación y, por lo tanto, de reducir el costo de operación.

Clasificación de los drones según su forma de sustentación

Drones de ala fija

La estructura está formada por un fuselaje y unas alas fijas. Recuerda a diseños de un avión convencional. Este tipo de diseño estructural predomina en aeronaves de carácter militar.

Drones de ala móvil o multirrotos:

Por definición podemos considerar los multirrotos o multirrotores como un helicóptero que posee más de dos rotores o motores.

Este tipo de UAVs está formado por una serie de brazos que sostienen los motores y conforman la estructura del dron albergando toda la electrónica y componentes.

La inmensa mayoría de los Drones para uso civil son multirrotores.

Esto es así porque este tipo de aeronaves son muy adecuadas para la principal actividad que se está desarrollando en estos momentos, la toma de imágenes y videos para el sector audiovisual, que constituyen alrededor del 90 % de la actividad.

Las principales ventajas de los multirrotores son las siguientes:

- Despegue y aterrizaje vertical, lo que reduce las necesidades del espacio requerido en tierra para su operación, mientras que las aeronaves de reducida dimensión de ala fija necesitan ser lanzados por humanos, o por catapultas mecánicas y disponer de un espacio libre para el aterrizaje o de un paracaídas para su aterrizaje.
- La posibilidad de volar a punto fijo (vuelo estacionario) o a muy baja velocidad, lo que resulta muy adecuado para aplicaciones de inspección, la segunda actividad en importancia.
- Mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo. Mientras que los sistemas de ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con unos radios de giro relativamente grandes y con velocidades de ascenso y descenso bastante estrictas, los multirrotores pueden volar prácticamente siguiendo cualquier trayectoria deseada en las tres dimensiones. Esto les permite tomar unos planos de gran dramatismo, acercándose mucho más al objetivo si es necesario y, combinando

el movimiento de la aeronave con el de la cámara embarcada, se pueden conseguir unas imágenes que hasta ahora no eran posibles.

- Su diseño les permite embarcar cargas más voluminosas, en relación con su propio tamaño, que los aviones.

Las principales ventajas de los aviones son las siguientes:

- Son mucho más eficientes que los multirrotores lo que les permite, a igualdad de tamaño, una mayor autonomía.
- Pueden volar a mayor velocidad, lo que combinado con lo anterior significa que pueden cubrir una distancia o un área mucho mayor, lo que les hace más indicados en actividades de cartografía o teledetección.
- Tienen una huella sonora sensiblemente menor, por lo que resultan más indicados para operaciones de vigilancia.
- Con las limitaciones descritas anteriormente, tienen un mayor rango climático en términos de temperatura, viento y lluvia.

A la vista de lo anterior se explica por qué los multirrotores dominan actualmente el mercado, si bien es previsible que en el futuro, a medida que se desarrollen aplicaciones de ejecución más complejas, cubriendo mayores distancias y desarrolladas a mayor altura sobre el terreno, al igual que ocurre en el caso militar, los sistemas de ala fija aumentarán su peso.

Ejemplos de sistemas de ala fija y rotatoria

A continuación se presentan dos ejemplos de Drones de similar tamaño, que muestran las características de ambos tipos de sistemas.



Ala fija



Multirrotor

Clasificación en función de la longitud de onda captada.

Óptica (Pancromática)

Dispositivo utilizado para capturar imágenes, en longitudes de onda entre los 380 y 780 nm.

Estas cámaras instaladas en los drones, son adaptaciones de las que comúnmente han invadido el mercado en los últimos años.



Diferentes tipos de cámara Ópticas, montadas en cuadricopteros y en dron de ala fija (derecha).

Infrarroja o térmica

Dispositivo que a partir de emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes visibles por el ojo humano. Estas cámaras operan con una longitud de onda que varía entre 3 μm y 14 μm .

existen otros modelos que procesan la imagen y muestran un abanico más amplio de colores en función de unos valores de longitud de onda predefinidos, para ser más fáciles de interpretar.

Las cámaras infrarrojas pasivas son conocidas como termográficas. A diferencia de las activas, las pasivas no tienen reflectores y perciben la radiación infrarroja tal y como es emitida por un cuerpo sin la utilización de filtros. Este es el tipo de cámara más común para ser instalada en un VANT, dado a que el ahorro de componentes reduce significativamente el peso, tamaño y precio.



Cameras Infrarojas para Drones

Estas cámaras infrarrojas, pueden usarse incluso de noche, puesto que se basan en amplificar la intensidad o captar longitudes de onda no visibles para el ojo humano en condiciones de baja visibilidad.

Multiespectral e hiperespectral

Las cámaras multispectrales: son un dispositivo que es capaz de generar imágenes con pocas longitudes de onda simultáneamente, las bandas pueden ser contiguas o no, dependiendo de los resultados que se deseen obtener.

Tras el procesamiento de las imágenes, se pueden montar de tal forma que se obtenga una imagen en pseudo-color. Si a esto se le añade que cada material tiene una firma espectral diferente, esta cámara puede facilitar la identificación de diferentes materiales encontrados en un objeto

Estas cámaras instaladas en un dron al igual que las térmicas anteriormente vistas, son capaces de adquirir imágenes con una resolución de 1 a 5 cm/píxel, reduciendo significativamente la resolución obtenida por los métodos tradicionales como son las aeronaves tripuladas o satélites que proporcionan una resolución desde algunos a decenas de metros por píxel.



Camara Multiespectral Parrot Sequoia

PARTES DE UN DRON

Marco (frames)

Esqueleto del multirrotor. Es la estructura que le da forma, en ella se instalan y aseguran los demás sensores y elementos. Generalmente esta estructura está fabricada con aleaciones metálicas para disminuir su peso, aunque dependiendo del modelo se puede encontrar fabricado en plástico o fibras de vidrio. Entre sus características principales debe estar la robustez y la flexibilidad, para intentar conseguir una mayor resistencia a los golpes o al viento, sin descuidar la ligereza del marco.



Marco de Hexacoptero



Marco tipo Ala voladora

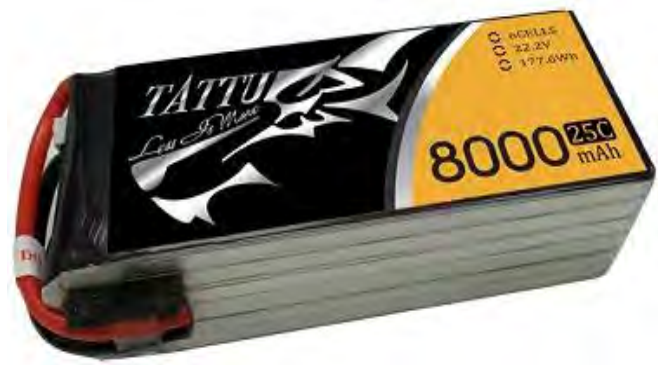
Batería

Es la encargada de aportar la energía necesaria al sistema para su funcionamiento. Las baterías más usadas son las de litio (Lipo) puesto que ofrecen una excelente relación entre capacidad, peso, volumen y tensión.

las baterías de Lipo están formadas por celdas de 3.7v. En radio control se suelen utilizar baterías desde 1 celda hasta 8 aunque pueden ser más, en función del modelo en el que van a ser instaladas.



Batería de 2 celdas



Batería de 6 celdas

No hay que caer en el error de pensar que cuanto más capacidad más autonomía, puesto que también influyen otras variables como son el peso, la eficiencia de motore. Si se añaden baterías en “serie”, el peso también aumentará disminuyendo el tiempo de vuelo.

Motores y Hélices

Son los componentes fundamentales para mantener el multirrotor en el aire. El motor es la parte de la máquina capaz de hacer funcionar al sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, combustibles etc. en energía mecánica, capaz de realizar una fuerza que produce el movimiento.



Motor y Helices de cuadricopteros

Radio receptor (mando)

Es el responsable de recibir la señal de radio enviada por el control remoto, mediante el cual el usuario realiza el movimiento que desea y este lo transforma en una transmisión que es recibida por el radio receptor del multirrotor transformándola en datos que se envían al controlador de vuelo, para que ejecute la instrucción. Una instrucción de movimiento realiza cambios coordinados en la velocidad de los rotores. De esta manera si el usuario da la orden de ir hacia delante los motores giraran a una velocidad mayor, haciendo que el aparato realice la acción.



Diferentes modelos de Controles, a la izquierda generico, a la derecha Control del Phantom 4

Sistema de Posicionamiento Global “GPS”

Es el encargado de transmitir información sobre la posición a la controladora de vuelo. La característica principal que este sistema debe tener es la precisión, puesto que es muy importante saber dónde está situado exactamente el dron con un margen de error minúsculo.

Además de la posición, también es capaz de calcular la velocidad del aparato en cada instante, calculando la distancia recorrida en un tiempo establecido.



Posicion del sensor GPS en un cuadricoptero.

Visión en primera persona “visores de realidad virtual o FPV”

Sistema de transmisión y recepción de video capturado por una o varias cámaras, en tiempo real. De esta manera el piloto, o cualquier otro usuario pueden ver en tiempo real la imagen que están captando las cámaras, instaladas en el dron. Este sistema es de mucha utilidad, sirviendo sobre todo para vuelos seguros a gran altura o distancia y para capturar mejores tomas durante el vuelo.



FPV, visión en primera persona.

Controlador de vuelo/ placa controladora

Componente principal de un dron. Dispositivo que registra todo lo que sucede en el dron, en él se conectan gran parte de los sensores y componentes, además de disponer de unas características propias. Por tanto, este dispositivo consigue la suficiente información del medio, para poder tomar decisiones correctas sobre los motores, que hacen posible el vuelo. Este controlador debe ser capaz de captar y realizar tareas en el menor tiempo posible, además de poder conseguir un aterrizaje seguro en caso de que el controlador principal falle. Es uno de los componentes más caros de la aeronave, puesto que un buen controlador, puede funcionar de manera autónoma sin que un piloto lo controle, a través de la planeación de un vuelo.



Modulos APM Pixhawk y ardupilot.

Estabilizadores de imagen (Gimbal)

Además de una correcta elección de la cámara a utilizar, es imprescindible instalar un buen sistema estabilizador de vuelo, puesto que este es un dispositivo encargado de reducir las vibraciones en la captura de una imagen cuando en la toma se producen movimientos no deseados.

Para optimizar el rendimiento del estabilizador es necesario la utilización de acelerómetros y giroscopios, que indican el movimiento, dirección y posición de la aeronave.



Modelos de Gimbal

Sensores a bordo de los drones – Camara

La selección de la cámara es otro aspecto fundamental para lograr el éxito en nuestro trabajo.

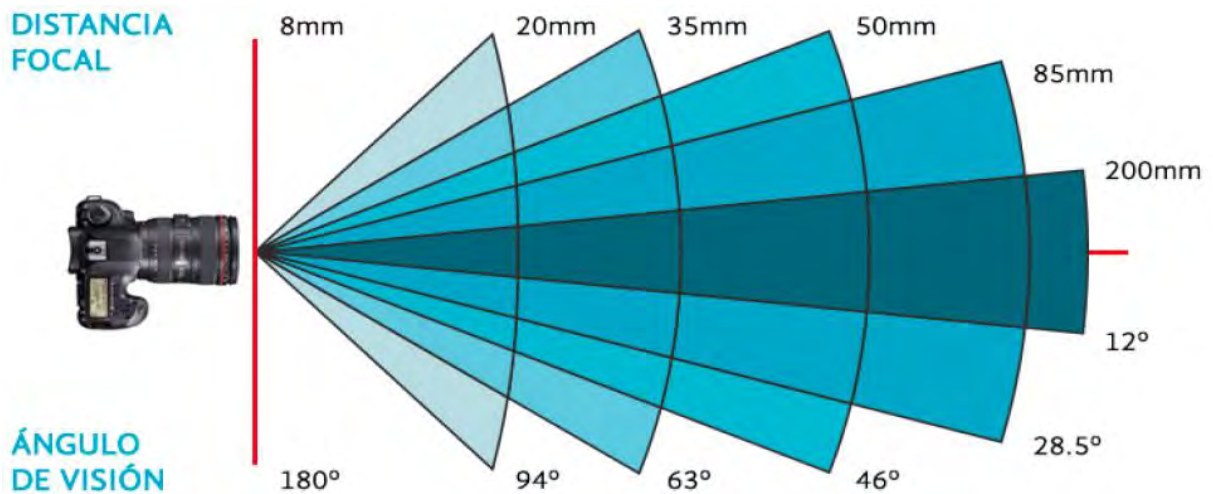
Una imagen es una representación visual, que manifiesta la apariencia de un objeto real o imaginario.

Las imágenes objeto de estudio van a ser creadas por dispositivos capaces de capturar imágenes estáticas o en movimiento. (cámaras de fotografías o de vídeo).

En la última década, el mercado fotográfico ha experimentado una gran evolución apareciendo en el mercado todo tipo de cámaras, desde las cámaras deportivas con un tamaño reducido y unas prestaciones ópticas muy aceptables, hasta complejas y sofisticadas cámaras réflex, pasando por cámaras térmicas o infrarrojas y multiespectrales, al mismo tiempo que el costo unitario se ha visto reducido considerablemente.

Elegir una cámara adecuada, con unas cualidades óptimas de resolución, velocidad de disparo, zoom, entre otros, es una tarea, donde juega un papel muy importante el vehículo donde se instalará y su finalidad. Con todo ello se tendrá que tener en cuenta, la carga de peso máxima, la autonomía, el consumo energético, y el sistema de estabilización. Habrá pues que buscar una situación aceptable entre las características de la cámara, su tamaño, peso y precio.

La altura de vuelo o distancia al objeto, está condicionada por la actividad que se desea desarrollar, el nivel de detalle que sea necesario para captar todos los detalles, tomando en consideración la resolución y la distancia focal del objetivo.



Diferencia de FOV en una fotografía, con respecto a la distancia focal de la lente.

Sin duda hay que elegir una buena cámara, con altas resoluciones y velocidades de disparo, pero habrá que tener en cuenta también la plataforma en la que irá aerotransportada. Tendremos que tener en consideración la carga máxima, la autonomía y el sistema de estabilización de cámara. Habrá pues, que buscar una situación de compromiso entre características de la cámara y su tamaño, peso y precio. Las cámaras compactas suelen ser una buena solución para este tipo de trabajos.

APLICACIONES CARTOGRAFICAS

Introducción

Desde la antigüedad se ha elaborado la cartografía del terreno para simplificar los elementos que en él intervienen. Pero hoy en día se ha incrementado la demanda y disponibilidad de los datos espaciales, por lo que se hace necesaria la obtención de datos a una escala de tiempo y espacio reducida.

Los instrumentos utilizados para representar la cartografía han pasado del papel a la cartografía digital, propiciado por una mejora de la tecnología. Los Sistemas Aéreos Remotamente pilotados popularmente conocidos como drones, en los últimos años, se han convertido en unas herramientas de obtención de información muy útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costos y genera resultados muy satisfactorios.

Los datos espaciales adquiridos serán la base de los diversos procesos que servirán para elaborar la cartografía deseada.

Hay que tomar en cuenta que antes de la llegada de los drones para cuestiones de mapeo sólo se tenía acceso a las fotografías aéreas efectuadas por aviones y equipos fotográficos especializados y era muy difícil actualizarlas por sus altos costos. Por otro lado, las imágenes satelitales de alta resolución suelen ser caras y muchas veces ni siquiera están a la venta al público, sino sólo a instituciones gubernamentales, y comparadas con un mosaico fotográfico de un dron, suelen verse no como imagen sino como simples píxeles.

Una herramienta básica para elaborar la cartografía es la fotogrametría. Esta permite realizar mediciones sobre fotografías, con las que se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos.

Si se trabaja con una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica, o dicho de otro modo, Información tridimensional.

Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

La fotointerpretación es otra herramienta muy útil para realizar la cartografía de un área, ya que permite determinar los elementos que intervienen en el terreno. Para ello es necesario realizar un trabajo de campo para tener claro cuáles son los objetos y elementos que se desean cartografiar, descartando aquellos que provocan confusión en el resultado final.

La tecnología GNSS permite determinar las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre con gran precisión. Este sistema tiene una importancia bastante significativa en lo que concierne a la cartografía, para poder localizar de una forma precisa los elementos que se pretenden digitalizar y no cometer errores en cuanto a la posición de estos en el espacio.

Obtención de datos

Las nuevas herramientas tecnológicas permiten obtener datos con una resolución temporal reducida y con una alta resolución espacial.

Las imágenes tomadas desde un Drones no son ortogonales, y de hecho no es necesario que lo sean, ni tampoco se busca como objetivo. La precisión de los GPS de abordaje son de varios metros (10 - 15 m), por lo que las precisiones de centímetros del trabajo final han de obtenerse mediante puntos de control en el terreno. Estos

puntos de control deben de repartirse homogéneamente sobre el territorio objeto de estudio, para obtener el mínimo error posible, además de realizar un reconocimiento del terreno para identificar las formas y elementos característicos del territorio.

La elección de la escala es fundamental. La escala apropiada será la que permita ver todos los elementos deseados claramente. Aun así, a la hora de realizar el vuelo, la altura del dispositivo no debe de ser muy elevada, siendo siempre por debajo de los 122 m para poder operar dentro del margen de la legalidad conforme a la normativa en vigor en Argentina para el uso de Drones.

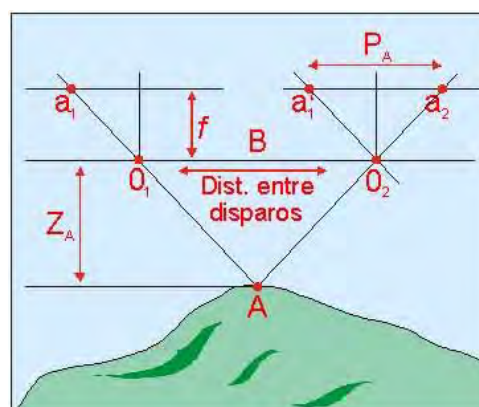
Dependiendo de los objetivos que se quieran alcanzar, la captura de fotografías puede ser desde cámaras digitales convencionales, con una distancia focal fija o una cámara multiespectral que capte la radiación en otras bandas del espectro electromagnético. Otro punto importante en la toma de datos son las condiciones atmosféricas, las cuales afectan en gran medida ya que puede provocar errores en la captación de los datos. Es necesario recordar que los Drones son equipos de unos pocos Kg. de peso que son muy vulnerables a los vientos y condiciones meteorológicas. Una climatología adversa aparte de poder provocar un fallo de seguridad en el vuelo con consecuencias poco predecibles, puede provocar cambios de posición del dron pudiendo variar la posición de disparo de la fotografía que podría alterar el resultado llegando a hacerlo técnicamente incorrecto.

Es importante a la hora de realizar el vuelo, seguir las indicaciones del manual del operador donde se indican las calibraciones y comprobaciones necesarias de todos los sistemas, con el fin de minimizar los errores y asegurar la calidad de los resultados. Algunos de los errores intrínsecos de la tecnología de uso de los Drones en aplicaciones cartográficas solamente pueden ser corregidas mediante el uso de puntos de control en tierra, de coordenadas conocidas. Algunos de estos puntos se utilizan para calibración, y otros para comprobación de resultados.

Proceso de gabinete - Correlación de imágenes

Dado un punto de un objeto del que se captan diferentes imágenes fotográficas, se denominan puntos homólogos de las imágenes a los diferentes puntos sobre las imágenes que son imágenes del punto.

Muchas veces es necesario para fotogrametría digital, identificar puntos homólogos en distintas imágenes o fotografías.



a₁ y a₂ son puntos homólogos, P_A es el paralaje. (distancia a₁-a₁').

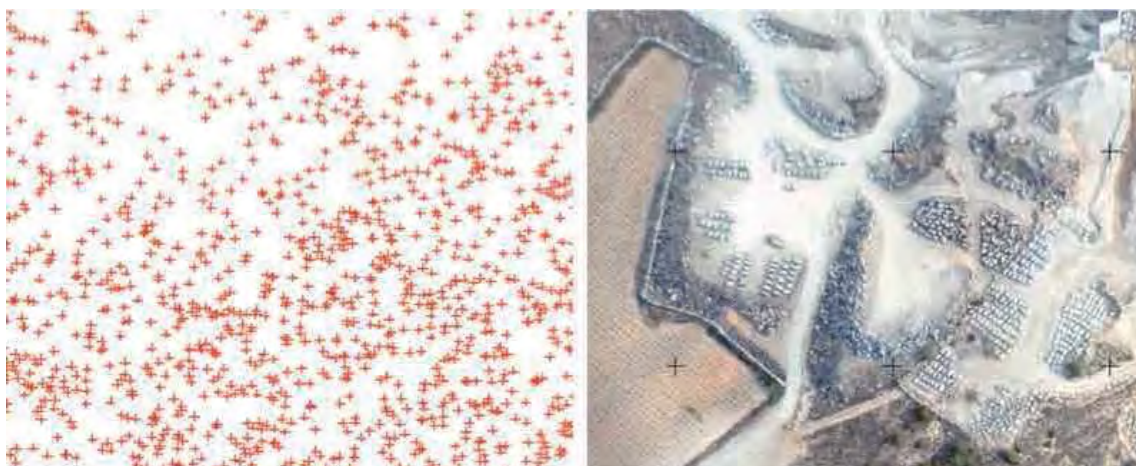
La identificación de puntos homólogos se puede hacer de manera manual, semi automática, o automática.

El tratamiento de imágenes digitales aporta el importante avance de permitir

desarrollar métodos que automatizan la identificación de puntos homólogos.

Una vez recogidos los datos se exportan a software especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z.

Existen programas como Photoscan o Pix 4D que se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos. Para procesar los datos, previamente debe conocerse el sistema de coordenadas que se ha utilizado en el proceso de captación de datos, y de forma muy recomendable la posición de cada una de las fotografías que se incorporen al proceso. Si las coordenadas son locales se deberá configurar previamente el software para no producir deformaciones en los resultados.



Nube de puntos tridimensionales y ortoimagen en alta resolución espacial.

Según la resolución con la que se quiera trabajar se puede crear una nube de puntos más o menos densa. Cuantos más puntos, mayor información y mayor detalle, cuanto menos puntos menor resolución espacial.

Esta nube de puntos permite realizar superficies y con ello analizar el terreno. Las superficies se crean a partir de un método de triangulación que genera el modelo digital del Terreno (MDT por sus siglas en inglés). Por último, la ortofotografía georeferenciada se crea a partir de la unión de numerosas fotografías creando un mosaico, conociendo sus coordenadas X, Y en el espacio.

Una vez generados estos modelos, se exportan a un programa software para modelar, analizar o diseñar. Para este cometido, existen unos software especializados de diseño asistido como Autocad o Microstation, y software de Sistemas de Información Geográfica como ArcGIS, QGIS, o Global Mapper entre otros, aunque existen otros muchos capaces de realizar el mismo trabajo.

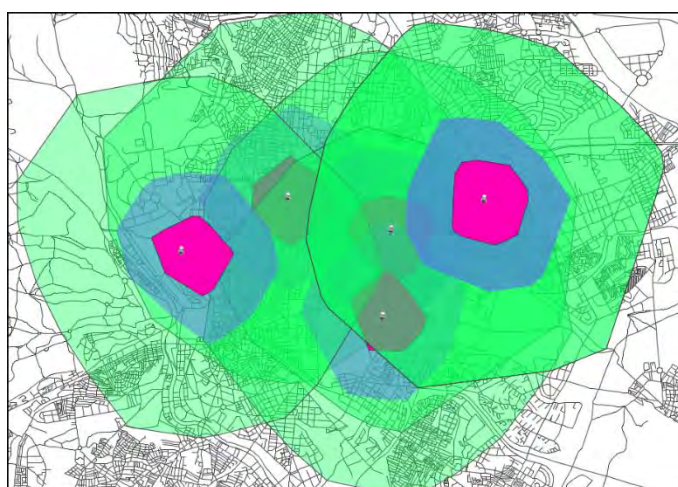
Los software de diseño asistido por ordenador están orientados a la creación y edición de objetos. A partir de la nube de puntos se puede crear una superficie pudiendo tomar diferentes estilos ya sea como curvas de nivel, modelo de elevaciones o modelo de la pendiente.

Una ortofoto/ortoimagen es una imagen corregida de los efectos producidos por las irregularidades y pendientes de la superficie del terreno, y por la inclinación de la cámara que ha tomado la imagen respecto al plano de referencia. Una ortofoto es una imagen transformada de perspectiva conica central a ortogonal.

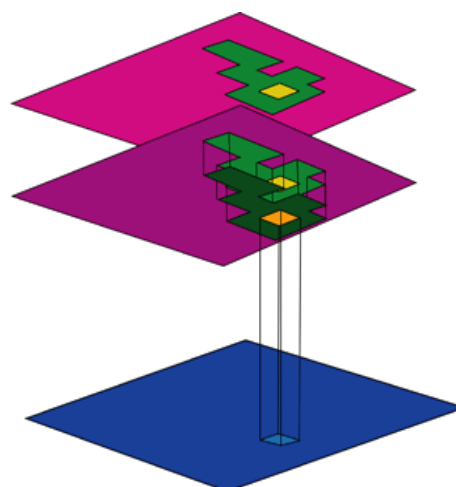
De esta manera, además, se puede ver qué área se ha cartografiado. Si dentro de esta se encuentran objetos como edificios o árboles que no se quieren representar y que no han sido eliminados por el algoritmo, se puede modificar la estructura de la nube de puntos y por consiguiente la superficie.

Por otro lado, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) manipulan, analizan, gestionan y almacenan datos vinculados al espacio. Consiste en relacionar Información georreferenciada en formato digital y herramientas informáticas para su análisis con unos objetivos concretos. La cartografía es una de las disciplinas más utilizadas en los SIG ya que estos se representan en un espacio con un sistema de coordenadas obtenido a partir de un sistema de proyección. Los programas SIG son la herramienta necesaria para manejar la información geográfica, combinando información gráfica y alfanumérica. ArcGIS es uno de los software informáticos que se utiliza para dicho trabajo.

Para realizar un análisis espacial existen una serie de procedimientos que permiten realizar cálculos entre las diferentes variables siendo su resultado la obtención de nuevos datos. Los procedimientos más habituales son las áreas de influencia, la superposición de otras capas de información, el modelo digital de elevaciones, el modelo digital del terreno o los análisis de vecindad, entre otros.



áreas de influencia



Operaciones zonales

También mediante la teledetección se puede realizar un análisis de la superficie terrestre y de los elementos que en él intervienen. Esta herramienta permite extraer información en toda la gama del espectro electromagnético: ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, que a simple vista no se podría ver.

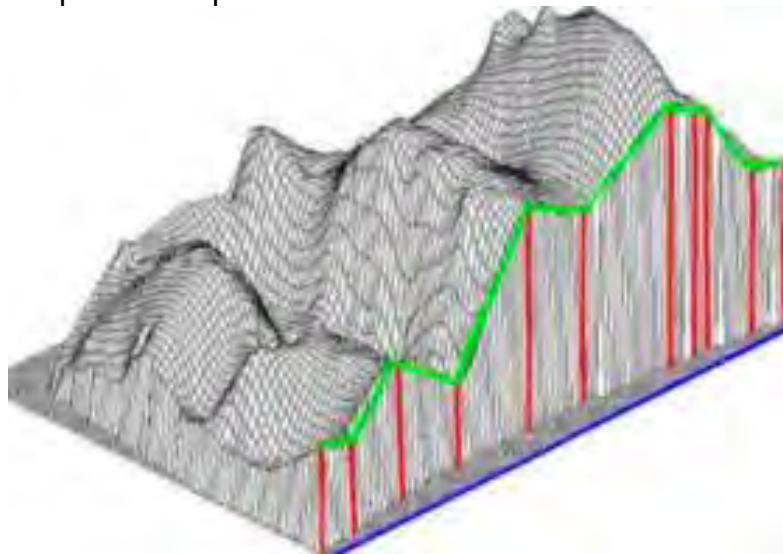
Con la imagen capturada multispectral se identificarán los objetos de la superficie mediante la reflectividad de estos, respecto a diferentes longitudes de onda. Cada objeto, ya sea suelo, vegetación o agua, se comportará de una forma diferente, hecho que le permitirá ser distinguido del resto. Estos programas permiten elaborar una cartografía de detalle orientada a diferentes campos que a simple vista no se podría ver como la geología y la geomorfología del terreno, el uso del suelo, el estado de la vegetación, etc.

Perfiles del terreno

Continuando con las formas de representar la componente de elevación, un perfil de terreno es una representación de la altura del terreno en una dirección deseada. Se representa en un eje la distancia desde el inicio de la línea de corte, y en el otro la altura del terreno.

Se puede obtener por un software un perfil de elevaciones de la nube de puntos obtenida. Una vez realizado el perfil, será fácil para el profesional diferenciar el contorno trazado que mejor se ajuste a utilizar.

Ésta es una herramienta muy útil porque nos permite determinar visuales y pendientes sobre una línea especificada por el usuario.



Perfil transversal de una montaña

Resultados finales

La cartografía es el único procedimiento gráfico que permite una representación del espacio geográfico mediante la escala y los sistemas de proyección. Los resultados se representan en Mapas y Planos en función de la escala a la que se representen, siendo los mapas una interpretación gráfica simplificada de la realidad.

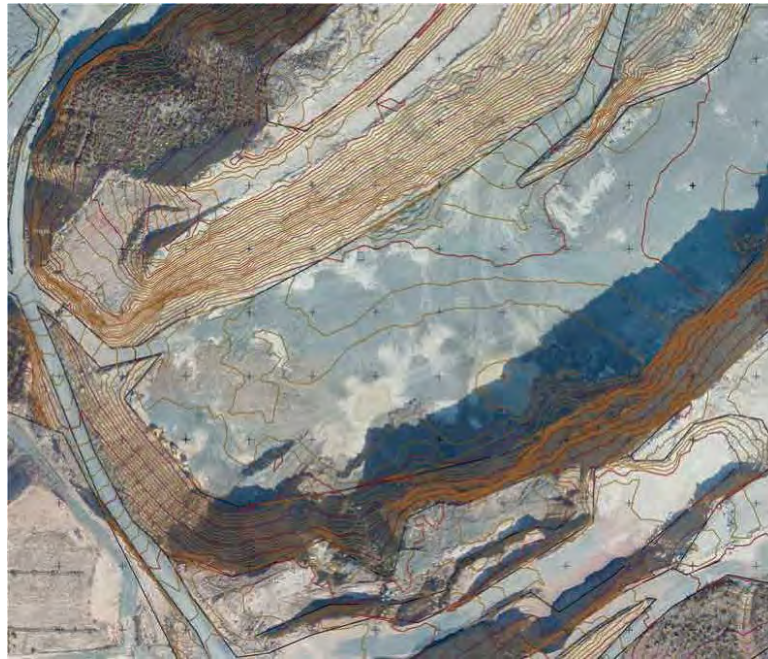
Ya se ha indicado que los formatos en los que se puede procesar la información son diversos, desde formato vectorial (puntos, líneas o polígonos), formato ráster u ortomágenes, todos en ellos en dos dimensiones.

Pero también se puede visualizar la información en una tercera dimensión, mediante la creación de modelos 3D. Toda representación gráfica debe ir acompañada de escala, sistemas de coordenadas y leyenda de los elementos que aparecen en el área cartografiada.

Una de las características que más ha evolucionado en los últimos tiempos en los modelos Digitales del Terreno, es la posibilidad de realizar modelos 3D interactivos asociados a formatos estándares como PDF's, o ficheros .kmz de Google Earth que permiten interactuar con el terreno. El empleo de Drones ha reducido el costo de estas actualizaciones, permitiendo acercar al usuario final una actualización interactiva muy sencilla y totalmente actualizada de los terrenos que se vuelan con estos sistemas.

Asociado a lo anterior, se pueden realizar vídeos virtuales a vista de pájaro del terreno. Estos vídeos se pueden exportar a formatos estándar en cualquier caso.

Por supuesto, no cabe duda que la presentación clásica por excelencia y que a día de hoy mantiene totalmente su vigencia es la representación de un plano de curvas de nivel con la toponimia correspondiente.



Composición cartográfica por capas 3D (ortoimagen y curvas de nivel).

La superficie creada, modificada o no, permite generar una cartografía que representa la realidad de una manera simplificada. Existen numerosas aplicaciones orientadas a diferentes disciplinas.

Esta representación cartográfica irá orientada a la hidrografía, la vegetación, la topografía y la planimetría. El Modelo Digital de Elevaciones servirá de base para la realización de muchos mapas.

Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT)

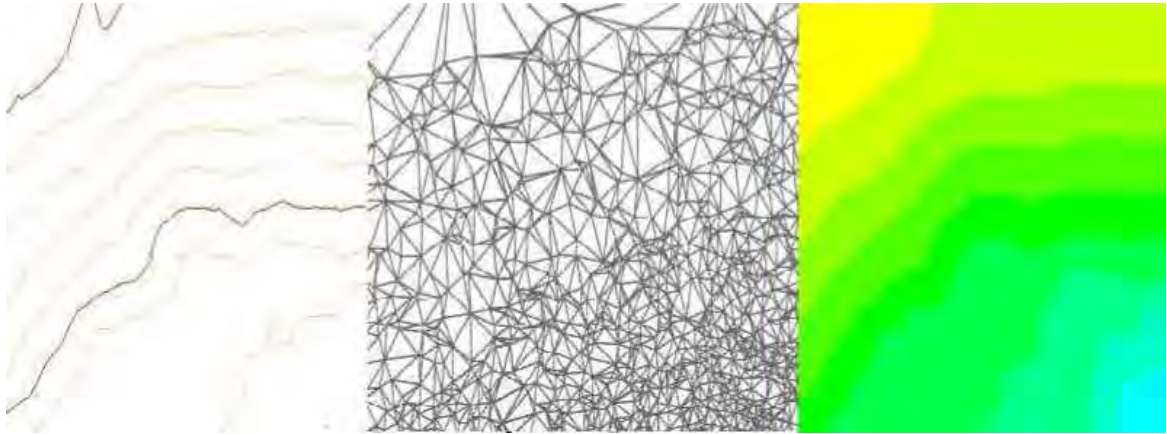
Estos modelos se crean a partir de una nube de puntos generada y procesada en el software del procesamiento fotogramétrico, correspondiendo cada punto a unas coordenadas x, y, z. Luego se transfieren los datos a un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) que es capaz de georeferenciar.

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) representa, mediante una capa ráster, el relieve de la superficie tal y como se encuentra teniendo en cuenta las infraestructuras, edificaciones, vegetación, etc... Mientras que el Modelo Digital del Terreno (MDT) solo representa la superficie del relieve sin contar con las actuaciones antrópicas. Por ello se debe de trabajar con la superficie y eliminar o modificar aquellos puntos en los que toman objetos como árboles, edificios, etc.

Metodos de representación

Existen 3 maneras para representar estos modelos de elevacion.

1. Las curvas de nivel son líneas que unen puntos con la misma altura siendo los intervalos generalmente constantes. (vector)
2. Otro sistema es el de las redes irregulares de triangulación. Se crea a partir de la triangulación de un conjunto de vértices que forman una red de vectores conectados. Este método de representación ralentiza el proceso y no aporta mucho a la hora de analizar el terreno. (vector)
3. Por último, también se puede representar con formato ráster. Este formato es más cómodo ya que permite visualizar las diferentes altitudes en diferentes gamas de color.



Métodos de representación MDT: Curvas de nivel, red de triangulación y ráster.

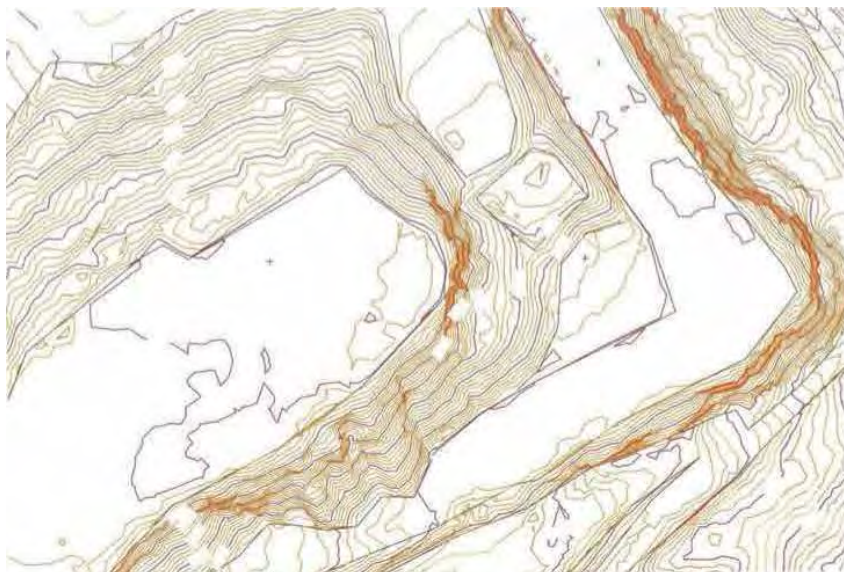
Estos modelos, además de aportar la altitud de cada punto, contienen Información que puede ser útil a la hora de analizar el terreno. Esta información se obtiene a partir del cálculo de diferentes variables a partir de procesamiento de álgebra de mapas, como puede ser la pendiente, la orientación, la curvatura, la rugosidad, la visibilidad o la dirección del flujo.

Mapa topográfico

Este modelo de representación cartográfica debe contener el MDT para, posteriormente, obtener las curvas de nivel, base de este tipo de representación. Los intervalos de cada línea (equidistancia), deben de ser constantes, pudiéndose configurar según lo desee el usuario, además de añadir etiquetas y modificar el color de las curvas de nivel. Para una mejor visualización puede añadirse sombreados teniendo en cuenta la orientación de la superficie.

Junto al relieve, un mapa topográfico también incorpora otra información muy variada, como son las redes hidrográficas, las obras civiles, edificaciones y demás elementos humanos, todo ello representado por medio de símbolos y signos.

El mapa topográfico es un elemento dinámico que cambia constantemente en el tiempo por lo que es necesario modernizarlo



Fracción de plano topográfico con curvas de nivel.

Usos del suelo

Existen numerosas fuentes, como el Corine Land Cover o el SIOSE, en las que vienen representados los usos del suelo, pero estos tienen una resolución espacial muy baja por lo que no se puede obtener detalles que podrían servir para efectuar un estudio. Una vez obtenida la ortoimagen georeferenciada mediante el método básico de fotointerpretación o de teledetección, se pueden identificar los diferentes usos del suelo conociendo previamente el terreno.

Los programas SIG permiten delimitar y representar estos usos del suelo de manera gráfica y sencilla. La fotointerpretación es un método más tradicional en el que la percepción de la superficie es la que se representa, por ello es necesario identificar los elementos que en él intervienen para no cometer ningún tipo de error.

Por otro lado, el proceso de teledetección es más complejo, ya que requiere que la fotografía aérea realizada también pueda obtener imágenes multiespectrales para que mediante el procesamiento de las imágenes, se identifique los diferentes elementos que existen en el territorio y poder representarlos de forma fiable.

Además, cada tipo de suelo, puede ser analizado y tratado a una resolución espacial y temporal mínima gracias a los Drones, teniendo en cuenta los objetivos que se pretendan alcanzar.

En temas medioambientales la cartografía se convierte en un elemento clave a la hora de realizar estudios de impacto, ya que permite identificar y delimitar áreas. Por ejemplo, la distribución de especies invasoras en el espacio o la repercusión que puede sufrir un área contaminada teniendo en cuenta la cartografía ya elaborada de mapas geológicos, mapas de escorrentías etc.

En el ámbito forestal se utiliza para conocer el estado de la vegetación, la previsión y control en caso de incendios o la distribución de especies en el terreno.

Conclusiones

En definitiva, el uso de los Drones (drones) contribuye a la obtención de datos espaciales en un periodo corto de tiempo y con una alta resolución espacial a un costo reducido. Anteriormente a su aparición, todo dependía de la disponibilidad de los satélites, de aviones tripulados o de la cartografía realizada recorriendo el campo.

Hoy en día las aplicaciones de los Drones para cartografía son múltiples abarcando diversos campos del conocimiento; el medio ambiente, la agricultura, las actividades industriales, el urbanismo, etc., aunque es importante destacar que a nivel normativo, y hasta la fecha, únicamente se pueden realizar operaciones con Drones en espacio aéreo no controlado, y fuera de núcleos de población, por lo que esta es una de las restricciones de uso que limitará el uso de estos sistemas.

APLICACIONES A LA PROSPECCION Y EXPLOTACION DE RECURSOS NATURALES

Introducción

Las actividades extractivas de los Recursos Naturales requieren una serie de trabajos, primero, de prospección para localizar los yacimientos y, posteriormente, de exploración, para conocer la morfología de éstos y las características o propiedades de los mismos. En una fase posterior se llevará a cabo la explotación o extracción de los recursos aprovechables para su posterior transformación hasta conseguir

productos vendibles.

Ventajas de los Drones en la prospección y explotación de recursos mineros

En términos generales, la prospección geofísica aérea presenta las siguientes ventajas de utilización:

- Son métodos geofísicos no intrusivos que no provocan impactos o daños medioambientales.
- Una gran multitud de tipos de datos pueden ser recopilados de una manera rápida y de forma económica.
- Es posible cubrir grandes áreas, reduciéndose significativamente los costos de prospección de grandes superficies.
- No son necesarios los accesos terrestres ni los permisos de ocupación.
- Los datos pueden ser recopilados de áreas remotas, accidentadas y con cobertura vegetal densa.

El costo de los estudios realizados con UAV por kilómetro es menor, ya que:

- El UAV con una capacidad de carga típica de 9 Kg. es mucho más barato que una aeronave tripulada (avioneta o helicóptero).
- Los UAV tienen costos de operación inferiores:
- Un operador de UAV puede controlar varios de estos equipos al mismo tiempo;
- Un UAV consume una cantidad de combustible menor al 20% de la que consume una aeronave convencional (dependiendo de la carga transportada).
- Un pequeño UAV puede tomar tierra en una superficie plana de dimensiones más reducidas que la que precisa una aeronave convencional.
- Como consecuencia de los menores costos de operación, un UAV puede sobrevolar varias veces una zona a prospectar de manera que se obtenga un gran volumen de datos, o bien la variación de los mismos con el tiempo, o incluso obtener con aplicaciones informáticas avanzadas modelos tridimensionales.

Los UAV son ambientalmente más sostenibles, ya que:

- Requieren menos materiales para su fabricación.
- Consumen menos combustible por cada Km. sobrevolado.
- Provoca menos contaminación por cada Km. volado.
- Genera menos ruido en vuelo.

Es más fácil su reutilización al final de su vida útil



Aeronave no tripulada dedicada a la exploración y explotación minera.

La prospección comprende la búsqueda del “recurso”, la exploración es su descubrimiento.

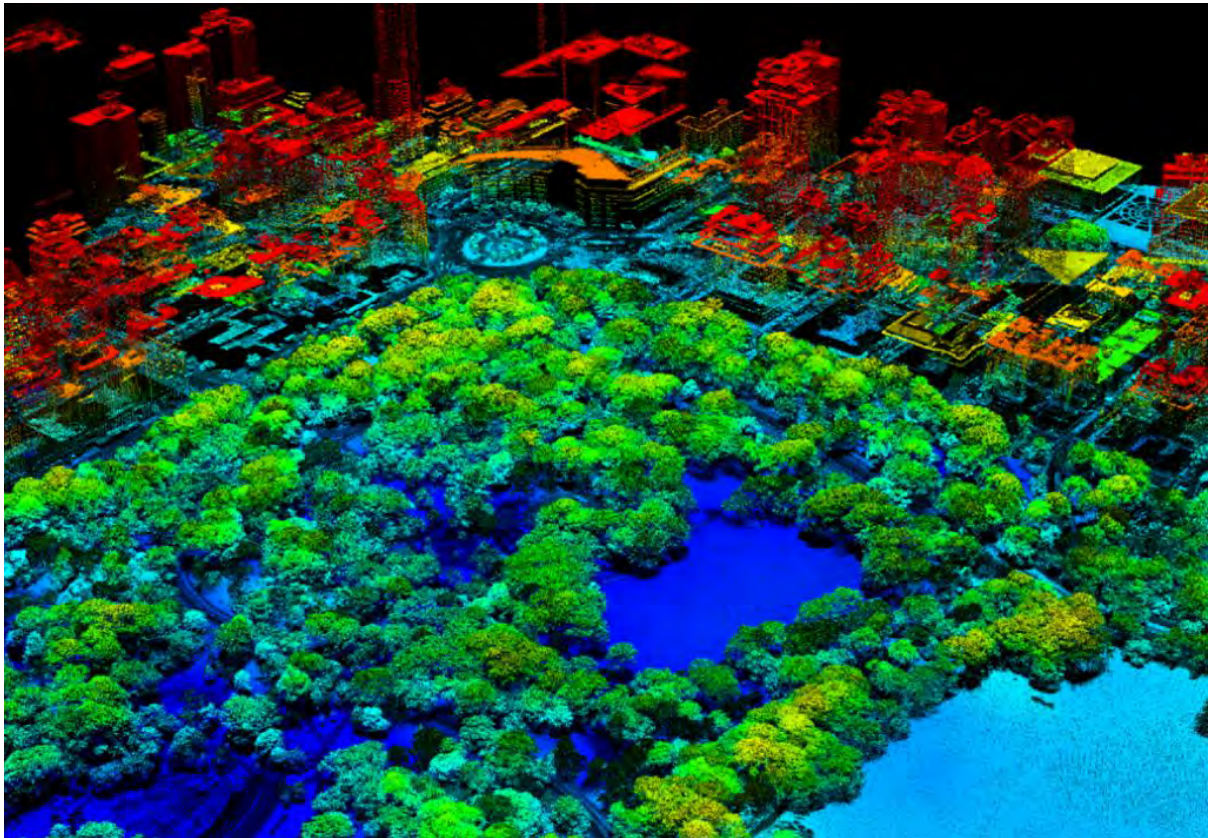
La prospección, como se ha dicho, consiste en la búsqueda, pudiendo hacerse con diferentes técnicas: recopilación de antecedentes históricos, fotografías aéreas e imágenes de satélites, prospección mediante trabajos de campo, observaciones directas y toma de muestras, análisis y ensayos de laboratorio.

Una vez descubierto el “recurso”, es necesario delimitar su forma y determinar su tamaño y la calidad.

Uso de LIDAR

Los requerimientos de información topográfica en las distintas fases de ingeniería - fases conceptuales básicas y constructivas- de los proyectos, tienen soluciones variadas que incluyen vuelos LIDAR, aerofotogrametría y levantamientos topográficos de detalle.

Los sensores LIDAR (un acrónimo del inglés LIDAR, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging, Detección de Luz y Rango), es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada., así se calcula la posición de un punto y sus coordenadas X, Y, y la altura Z. Cuando se generan miles de datos se crean nubes de puntos y mientras más densas sean pueden dar lugar a modelos 3D cada vez más exactos.



Nube de puntos creada por un sensor LIDAR, cada punto tiene coordenadas tridimensionales.

El LIDAR se monta en un avión especialmente acondicionado, cuya trayectoria estará vinculada con una red de estaciones terrestres dotadas con GPS de alta precisión ubicadas en puntos de coordenadas conocidas. La alta densidad de puntos que se pueden medir con este sistema, junto a la elevada resolución que se puede alcanzar, lo convierten en una poderosa herramienta para los estudios de ingeniería básica y de detalle.

A diferencia de los métodos convencionales, la información obtenida no depende de fotografías, y por ello no se ve afectada por pendientes abruptas o muy suaves, contrastes de luz y sombra, etc. el procesamiento de la información permite generar planos a distintas escalas, georreferenciación en distintos sistemas coordenados, planimetrías, curvas de nivel, modelos de datos (MTD), delineación de estructuras y construcciones, etc.

Las principales ventajas de esta tecnología frente a los métodos terrestres son la capacidad de cubrir grandes extensiones de terreno en muy poco tiempo, alcanzar lugares de difícil acceso sin riesgo para las personas, complementar la información adquirida con fotografías de alta calidad, y el hecho de que con los datos tomados de un mismo vuelo se pueden generar planos a cualquier escala.

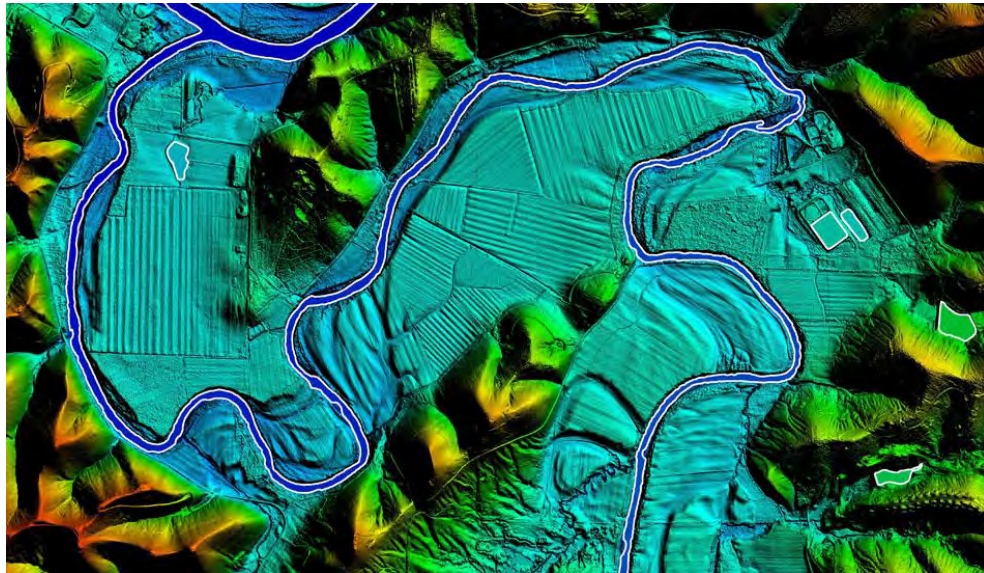


Imagen en 3D a cielo abierto obtenida con un sistema láser LIDAR.

La mejor solución para representar la topografía de un sitio, se ha comprobado que es la obtención de puntos coordenados en la superficie con LIDAR y fotografías digitales con una densidad ajustada a las necesidades del proyecto.

La gran precisión lograda con esta metodología permite el uso de los datos en las diferentes fases de los proyectos de ingeniería, tanto en la de ingeniería básica como en la de detalle, mientras que la flexibilidad de los formatos y sistemas coordenados permiten su uso bajo diferentes plataformas de desarrollo y explotación.

Las aplicaciones de la topografía se extienden a casi todos los ámbitos de la ingeniería, y de ahí la importancia de contar con una información de alta calidad.

APLICACIONES EN AGRICULTURA Y PLANTACIONES FORESTALES

Agricultura de precisión y Drones

Se entiende como Agricultura Convencional a los métodos de producción en el que los recursos se aplican de forma uniforme en toda la superficie a tratar, sin tener en cuenta las necesidades específicas de una determinada planta, ni los diferentes factores que puede intervenir en el desarrollo de un cultivos.

La Agricultura de precisión es un concepto agronómico que consiste en el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola.

Esta tecnología busca que las explotaciones agrícolas se gestionen dependiendo de las necesidades reales de cada zona del cultivo. Es decir, se persigue solucionar el problema allí donde se produce y con ello reducir costos y tratamientos innecesarios, para así optimizar el rendimiento, mejorando la rentabilidad de los cultivos y la disminución del impacto ambiental, ya que la aplicación de agroquímicos es dirigida y ajustada a los requerimientos reales de cultivo.

Para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Posicionamiento Global, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones o drones.

Los Drones vienen a cubrir dos limitaciones que tiene actualmente el uso de satélites en el manejo de cultivos en tiempo real, como son la falta de imágenes con resolución espacial y espectral óptimas y una mejora en la capacidad de revisita necesaria para

detectar determinados problemas que afectan al desarrollo de los cultivos. Las alternativas basadas en plataformas aéreas tripuladas tampoco resultan efectivas debido a sus altos costos operativos.

Un requisito fundamental para proporcionar productos útiles de detección remota en agricultura es la capacidad de combinar alta resolución espacial y tiempos de respuesta rápidos. Los sensores multiespectrales colocados en vehículos aéreos no tripulados pueden llenar este vacío, proporcionando métodos de bajo costo para satisfacer los requisitos críticos de resolución espacial, espectral y temporal.

Por lo tanto, una de las herramientas más eficaces para cartografiar las diferentes variables que afectan a un cultivo, es la teledetección, la cual pretende obtener información sobre un objeto, área o fenómeno sin estar en contacto con él.

Cuando se trata de cartografiar un cultivo, la resolución que se desea obtener tiene que ser máxima, puesto que dependiendo del cultivo, puede ser interesante obtener resultados en etapas muy tempranas de germinación o brote, por eso una buena combinación entre la altura de vuelo y la resolución de la cámara a utilizar, se presentan esenciales.

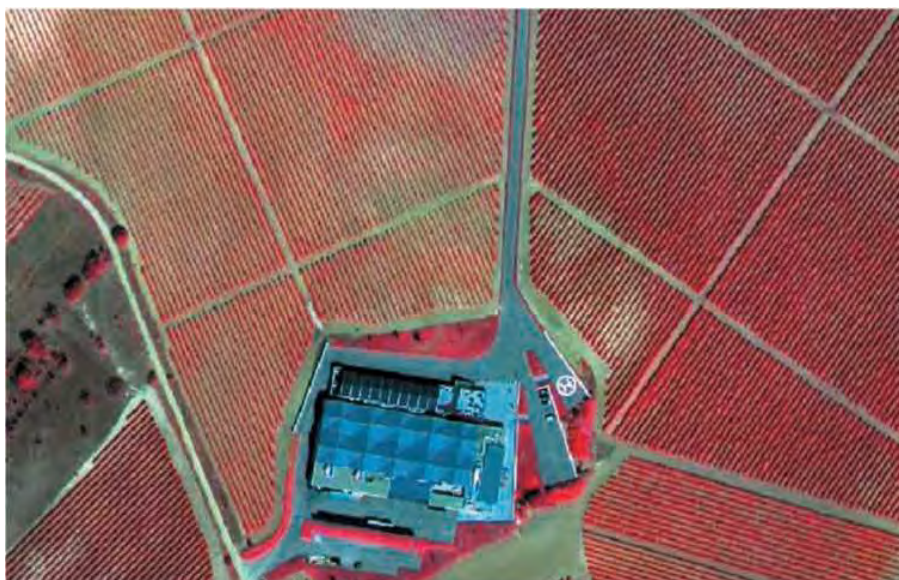


Imagen multiespectral en infrarrojo vitícola. La observación de la realidad en rangos del espectro más allá de la región del visible nos permite captar la variabilidad existent.

Los datos captados por todos estos sensores se almacenan digitalmente en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se genera la información que ayuda al agricultor en la toma de decisiones en campo (fertilización, podas o aclareos).

El objetivo último de la Agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas.

En la literatura es fácil encontrar expresiones como: “los Drones son capaces de detectar el estrés nutricional en los cultivos, lo que facilita el uso óptimo de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación y también son capaces de realizar una detección temprana de enfermedades y plagas”. Sin embargo, los Drones son solamente las plataformas sobre las que se instalan las cámaras y los sensores multiespectrales que nos permiten obtener datos de una explotación.

No son el único tipo de plataforma, ya que estos sensores multiespectrales pueden estar instalados en satélites y en aviones; tampoco son la única fuente de datos, porque también podemos obtener la información que necesitamos para la toma de

decisiones, por ejemplo, a partir de sensores planta-clima-suelo que se instalan directamente en campo.

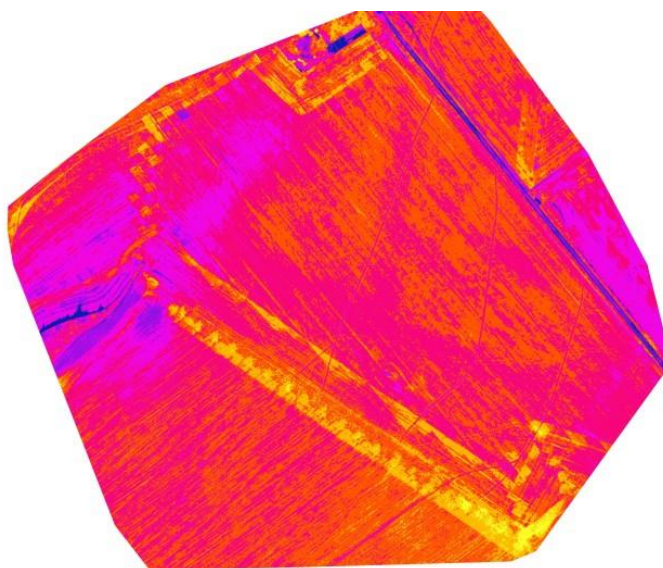
Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones operativas que utilizan los agricultores se basan en la integración de distintos tipos de sensores que caracterizan tanto la variabilidad espacial, como la variabilidad temporal de las fincas.

Por tanto, los Drones son vehículos que transportan sensores. Su potencialidad en agricultura para captar información viene dada por la precisión espacial con la que se puede tomar el dato y por la disponibilidad temporal de ese dato.

Debido a las características de las cámaras utilizadas y a la altura de vuelo, la resolución espacial de los datos obtenidos por un Drones es centimétrica. Además, un Dron puede volar en condiciones meteorológicas diversas y suele hacerlo por debajo de las nubes, por lo que la resolución temporal de adquisición de datos puede aumentar considerablemente frente a satélites y aviones.

La principal potencialidad del uso de los Drones en agricultura, es la de facilitar a los agricultores la capacidad de observar su explotación desde el aire, obteniendo así una perspectiva de su cosecha que les permita detectar las incidencias en cada campaña agrícola. Estas incidencias van desde problemas de fertirrigación hasta infestaciones de plagas y hongos que no se ven a ras de suelo.

Esta observación desde el aire no tiene porqué ser solamente en el rango del espectro visible que es lo que ve el ojo humano, sino que puede hacerse en las regiones del infrarrojo reflejado y del infrarrojo térmico, mediante cámaras multispectrales, donde la respuesta de los cultivos es más acusada y permite una mejor caracterización de lo que está ocurriendo en la explotación.



Índices de crecimiento vegetativo calculado a partir de imágenes multispectrales captadas por drones

Además, disponer de un Dron, nos permite volar los campos cada semana o cada día, permitiendo obtener una serie temporal, que facilita el seguimiento de la evolución de la cosecha y de las prácticas agrícolas que se realizan.

Potencialmente, los Drones son un servicio de información sobre el estado hídrico de los cultivos, su grado de desarrollo vegetativo y su estado sanitario, que se puede obtener en tiempo real para poder realizar riegos, fertilizaciones o tratamientos sanitarios en las zonas de las fincas agrícolas donde se detecten dichas necesidades y en el momento que se considere más adecuado.

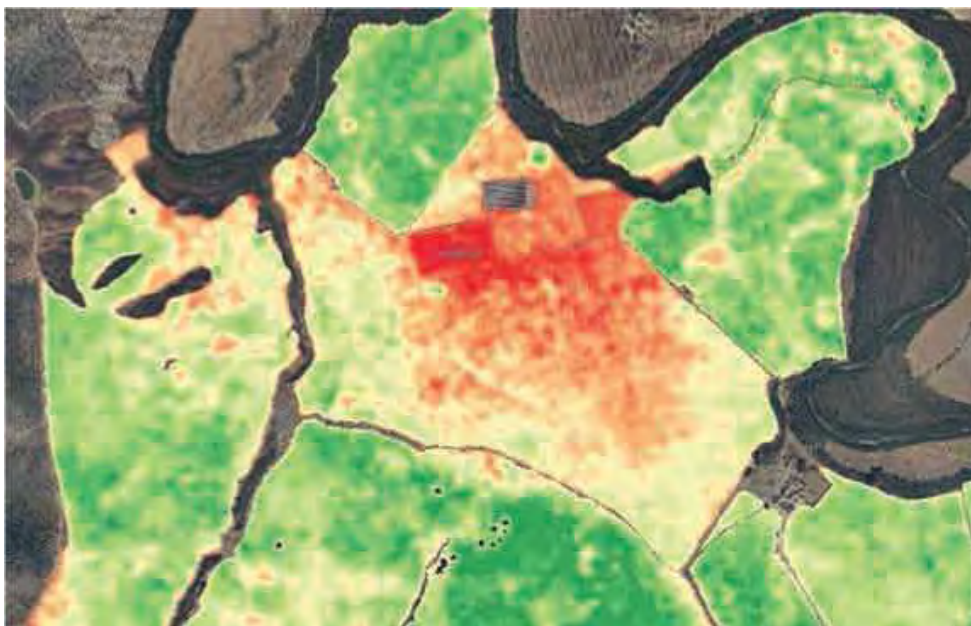
Aunque las aplicaciones de los Drones en agricultura son diversos, todos estos trabajos persiguen la cartografía de algunas variables.

En la literatura se pueden encontrar muchas aplicaciones potenciales de los Drones. Es importante tener en cuenta que todas estas variables se aplican a los viveros forestales y a las plantaciones forestales durante los primeros años..

Sin querer que esto sea una recopilación exhaustiva, ni entrar en detalle en cada una de ellas, a continuación se relacionan las más generalizadas:

- Manejo eficiente del agua

El estrés hídrico en los cultivos provoca el cierre de los estomas, reduciendo la transpiración y aumentando la temperatura de las hojas. Este aumento de temperatura se puede monitorizar mediante sensores térmicos. Estos sensores permiten estimar las necesidades hídricas de cada planta por lo que se puede llegar a aplicar la cantidad más adecuada de agua, con el consiguiente ahorro.



Estrés hídrico en una explotación de olivo. (Utilizando imágenes térmicas).

- Tratamientos localizados de herbicidas

Para realizar tratamientos localizados de herbicidas sólo en las zonas infestadas y poder adaptar la dosis y el tipo de herbicida, es necesario detectar y cartografiar con precisión las malas hierbas.

En la mayor parte de los cultivos, los tratamientos se realizan en fases tempranas, cuando las malas hierbas y el cultivo están en un estado fenológico de plántula. En este estado de crecimiento tienen una respuesta espectral y una apariencia muy similar, por lo que para que el tratamiento sea localizado es necesaria su discriminación atendiendo a la composición y densidad de las malas hierbas.



Dron equipado con sensor multiespectral volando una parcela.

- Uso óptimo de fertilizantes

La detección del stress nutricional en los cultivos, a partir de sensores multiespectrales que estiman el desarrollo vegetativo, permite la aplicación de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesario.

- Detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos

La capacidad de tomar imágenes multiespectrales en cualquier momento, nos permite detectar los cambios que se están produciendo en los cultivos. La combinación de estos datos con predicciones climáticas de detalle ayudarán a la detección de enfermedades, especialmente por hongos.

Con esta información se pueden programar medidas de control.

- Supervisión de áreas fumigadas

La vista de pájaro que nos permiten tener los Drones constituye una herramienta operativa para el seguimiento de las actuaciones que realizamos sobre nuestras fincas.

- Indicadores de calidad en cultivos

Las imágenes multiespectrales obtenidas desde un Dron en combinación con parámetros medidos en campo permiten, en el marco de un Sistema de Información Geográfica, obtener indicadores de calidad o producción de los cultivos.

- Generación de inventarios de cultivos

La observación aérea ha sido desde siempre una herramienta potente para la generación de inventarios de cultivos. Aunque para grandes superficies los Drones no ofrecen las prestaciones de aviones y satélites de muy alta resolución, sin embargo, son una herramienta operativa en lugares de muy difícil acceso, en países con dificultades de infraestructura para operar aviones o en zonas con mucha cobertura nubosa.

- Conteo de plantas

Las plantas crecen con la luz del sol, por ello el agricultor se asegura de que los cultivos se siembren de manera que les permita obtener el máximo de luz solar.

La forma tradicional de hacerlo es contar manualmente un área del campo y luego extrapolar los datos obtenidos a la totalidad de la finca. Los vehículos Aéreos no tripulados proporcionan una nueva alternativa al método tradicional de recuento de soporte. En lugar de contar manualmente sólo una parte de la finca, permiten obtener información de todo el campo en el mismo tiempo que se habría utilizado para hacer el recuento de un área limitada.



Conteo de Arboles utilizando Drones.

La información obtenida en los recuentos de soporte es la base para determinar los próximos pasos que puede realizar el agricultor para la mejora de su cultivo. Además, las experiencias obtenidas permiten establecer estrategias futuras de marco de plantación.

- **Peritación de cultivos**

Cada vez más, la peritación de cultivos ante un siniestro, se apoya en imágenes multiespectrales obtenidas a partir de aviones y satélite. Estos datos permiten identificar con gran fiabilidad aquellas zonas que o bien no han sido afectadas o lo han sido al 100%. Sin embargo, la fiabilidad de esta peritación disminuye cuando el cultivo se ha visto afectado parcialmente, siendo necesario que el perito se desplace a campo. La posibilidad de volar sobre la parcela afectada y obtener imágenes multiespectrales de la finca puede ser una herramienta objetiva en los procesos de peritación.

¿Dron, avión o satélite ?

Frente a estos requisitos de usuario, las distintas plataformas existentes en el mercado (Drones, avión y satélite), deben dar respuesta a estas necesidades. De poco sirve que se tenga una capacidad de obtener imágenes con resolución milimétrica, si al agricultor le basta con resoluciones cuasi-métricas.

Si se considera la resolución espacial, existen varios satélites que presentan resoluciones entorno a los 50 cm., como QuickBird, WorldView o GeoEye. En el caso de los aviones, la altura de vuelo y las características de la cámara condicionan la resolución espacial de las imágenes. En nuestra experiencia con el sensor multiespectral ADS40 de Leica, las resoluciones con aviones no presurizados están en torno a los 30-35 cm. por último, los Drones también dependen de la cámara y la altura de vuelo.

La resolución temporal en los tres tipos de plataformas es “a demanda”, si bien en el caso de los aviones es necesario contar con el permiso de vuelo.

Los satélites dependen de su modelo orbital (cuándo pasarán por la zona de interés) y de la existencia de cobertura nubosa.

Cuando se cursa una petición de adquisición, la empresa que gestiona el satélite abre una ventana de adquisición en la que garantiza la captura de la imagen si las condiciones son favorables.

La ventaja de los Drones es que si pueden volar por debajo de las nubes y no necesitan de permisos administrativos, la adquisición de la imagen está prácticamente garantizada en el momento en que se desee.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la captura de una zona amplia no es instantánea por lo que la toma requerirá de un tiempo en el que las condiciones climáticas y de iluminación pueden cambiar sustancialmente.

Una ventaja operativa sustancial de los Drones viene de su capacidad de montar no sólo sensores en el rango del visible y del infrarrojo próximo, sino también en el térmico.

Los satélites de muy alta resolución no cuentan con sensores que capten la radiación electromagnética en la región del térmico y, los satélites que cuentan con sensores térmicos lo hacen con resoluciones muy pequeñas (60 a 100 m de resolución espacial).

En cuanto a los costos de adquisición, actualmente, las imágenes de satélite tienen unas condiciones claras y sencillas.

Tablas de precios para imágenes de alta resolución por km². (Para imágenes nuevas y de Archivo o históricas).

High Resolution New Tasking Pricing

High Resolution New Tasking Pricing (50cm)	WorldView-1	WorldView-2 WorldView-3	QuickBird	GeoEye-1	IKONOS (80cm)	Pléiades 1A/1B
Panchromatic	\$24	\$24	n/a	\$24	n/a	\$23
3-Band Pan-Sharpned	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$23
4-Band Pan-Sharpned	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$23
Panchromatic + 4-band Multispectral Bundle	n/a	\$27.50	n/a	\$27.50	n/a	\$23
8-Band Multispectral	n/a	\$29.00	n/a	n/a	n/a	n/a
8-Band Panchromatic + Multispectral Bundle	n/a	\$29.00	n/a	n/a	n/a	n/a

High Resolution Archive Pricing

High Resolution Archive Pricing (50cm)	WorldView-1	WorldView-2 WorldView-3	QuickBird	GeoEye-1	IKONOS (80cm)	Pléiades 1A/1B
Panchromatic	\$14.00	\$14.00	\$14.50	\$14.00	\$10	\$13
3-Band Pan-Sharpned	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$13
4-Band Pan-Sharpned	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$13
Panchromatic + 4-band Multispectral Bundle	n/a	\$17.50	\$17.50	\$17.50	\$10	\$13
8-Band Multispectral	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a
8-Band Panchromatic + Multispectral Bundle	n/a	\$19	n/a	n/a	n/a	n/a

En el caso de los vuelos con aviones tripulados es mucho más difícil establecer un precio unitario, ya que depende de la existencia de permisos, de la coincidencia con otras campañas que tenga la operadora del vuelo, de la superficie total a volar, del modelo de avión, y de la distancia y dispersión de las fincas agrícolas.

Los Drones son vehículos sobre los que instalar sensores. Lo importante no es la técnica: es la solución de un problema real. A la hora de elegir los Drones como una herramienta para obtener la información que necesitamos para gestionar eficientemente la finca, hay que tener en cuenta sus ventajas, pero también sus inconvenientes y las alternativas existentes.

Los satélites de muy alta resolución y los aviones en muchos casos, son alternativas reales al uso de los drones.

APLICACION AL RELEVAMIENTO DE BOSQUES

Introducción

Se emplean técnicas de la Teledetección para explorar la utilidad de distintos tipos de datos de observación de la Tierra, por ejemplo en el seguimiento fitosanitario de las masas forestales.

El desarrollo se ha basado en la utilización de diversos índices espectrales, que proporcionan información sobre el estado de la vegetación, y que han sido contrastados con datos de verdad en el terreno.

Este proyecto se ha planteado a dos escalas de trabajo, una regional, para la que se han utilizando datos de observación de la tierra procedentes de plataformas basadas en satélite, y otra local, a partir de imágenes adquiridas con sensores a bordo de sistemas de aeronave pilotada por control remoto (Drones).

La utilización de drones para el relevamiento de masas forestales permite además, realizar tareas a baja altura, grabando en tiempo real y facilitando el relevamiento de zonas peligrosas o de difícil acceso y superar obstáculos diversos, de forma automatizada y sin poner en riesgo la seguridad personal. En la actualidad existen con una gran variedad de formas, tamaños y características en función del uso al que estén destinados.



Ortofotografía en el que se observan claros en la plantación, con patrones circulares, como consecuencia de la extracción de los árboles muertos afectados por hongos.

Análisis de las imágenes

La metodología aplicada para el análisis de las imágenes consisten en:

1. Extracción de una máscara de arbolado, con el fin de facilitar el análisis de la vegetación objeto de estudio.
2. Cálculo de índices de vegetación relacionados con distintos parámetros con significado biofísico.
3. Análisis de los índices de vegetación y correlación con los datos de parámetros medidos en campo.

Extracción de la máscara de arbolado

La extracción de la máscara de arbolado se lleva a cabo por clasificación de las bandas multiespectrales. Con el fin de depurar la máscara de arbolado, puede usarse un modelo de altura de la vegetación, derivado del modelo digital de superficie.

Cálculo de índices de vegetación

Cada tipo de cobertura presenta una firma espectral típica, directamente relacionada con sus características de composición, geometría, etcétera. de esta forma, la proporción de luz incidente que es reflejada, absorbida o transmitida depende de las características de la cobertura del suelo y de la longitud de onda analizada.

La firma espectral de la vegetación está condicionada por la presencia de pigmentos, la estructura de la hoja y su contenido en agua, que variará en función de la especie, su estado fenológico, salud, y otros factores.

En el espectro visible (400 a 700 nm), los pigmentos fotosintéticos son los que condicionan la respuesta espectral de la vegetación, mientras que en la región del infrarrojo cercano (700 a 1.350 nm), es la estructura interna de la hoja el factor condicionante.

Normalmente, las concentraciones altas de clorofila se relacionan con una buena salud de las plantas, mientras que, un incremento en la concentración de carotenos y

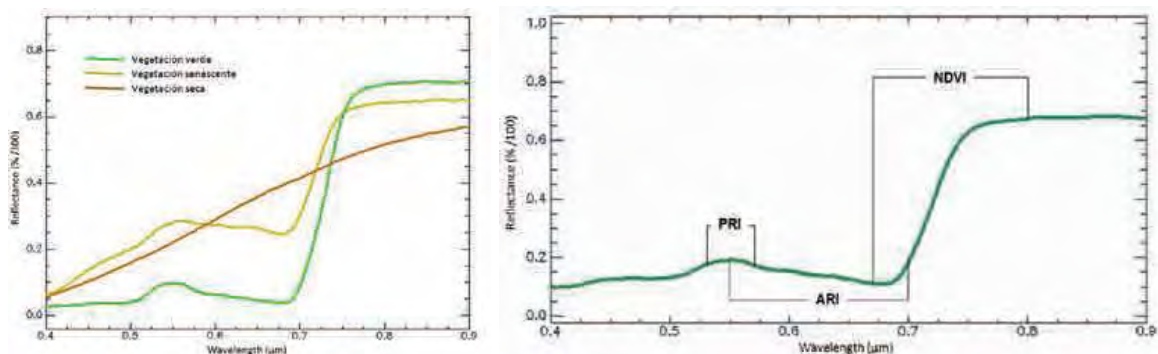
antocianinas se vincula a situaciones de estrés o senescencia (tonos amarillos y rojos de las hojas).



Masa forestal con distintos grados de senescencia

Los índices que se aplican sobre las imágenes multispectrales se pueden agrupar en tres categorías:

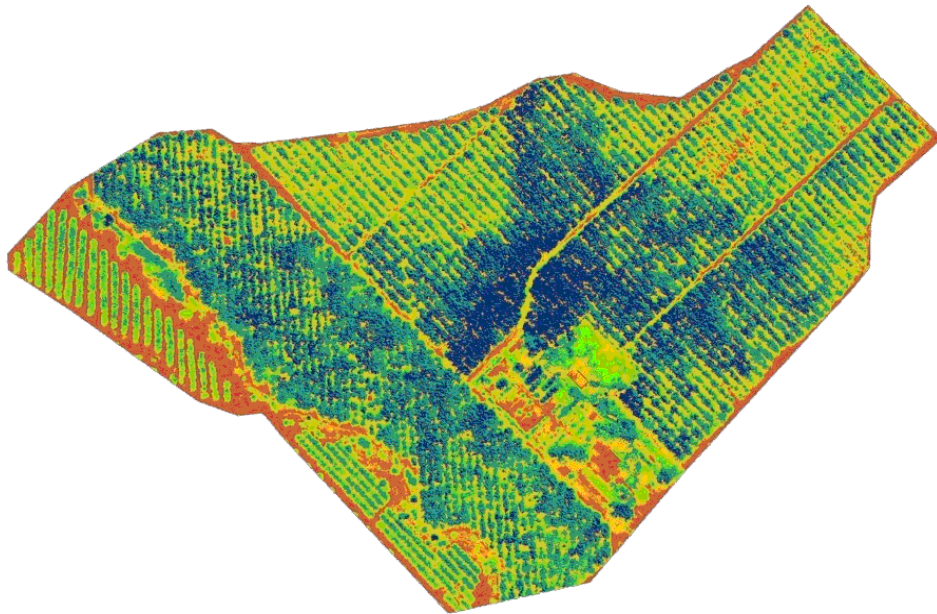
1. Índices relacionados con la concentración en pigmentos, como el ARI (Anthocyanin Reflectance Index, Gitelson, et al., 2001), que informa sobre la concentración en antocianinas.
2. Índices estructurales relacionados con la actividad fotosintética de las plantas, como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Rouse, et al., 1973).
3. Índices relacionados con la eficiencia en el uso de la luz, como el pRI (Photochemical Reflectance Index, Gamon, et al., 1992).



Izquierda, respuesta espectral de la vegetación verde, senescente y seca.

Derecha, bandas espectrales utilizadas en los índices de vegetación ARI (concentración en antocianina), NDVI (actividad fotosintética) y pRI (eficiencia en el uso de la luz).

Los índices en los que intervienen bandas espectrales con rangos amplios de valores de reflectividad, como el NDVI, sí muestran una gradación de valores entre los árboles sanos y los enfermos.



Indice NDVI en una plantacion Forestal

Incendios Forestales

Una de las principales preocupaciones para cualquier comunidad viene dada por la reducción, control y extinción de grandes incendios forestales, que cada año asolan grandes cantidades de terreno en nuestro país.

En los últimos años se han venido desarrollando una serie de proyectos, que a través de cámaras y sensores equipados en diferentes tipos de plataformas convencionales o en drones busca captar imágenes térmicas multiespectrales georreferenciadas en tiempo real con la ayuda del GPS, que a través de otras variables como el tiempo, mapas de forestación del terreno, temperatura de la corteza terrestre o el grado de humedad, entre otras, es capaz de realizar una simulación que ayuda a la toma de decisiones de los expertos en extinción de incendios, en un tiempo más reducido.



Drones y sus ventajas en la lucha contra incendios forestales

Aunque para una correcta extinción de los incendios forestales, obtener una precisa información sobre el estado de los bosques que contenga factores como la

composición, separación entre plantas, material combustible, longevidad, etc, se hace esencial para tomar medidas preventivas, antes de que se produzca un incendio..

En la provincia de cordoba, hay proyectos de deteccion temprana de focos de incendio, en caso de que aparezca un foco de incendio, el dron determinará los parámetros de ubicación y enviará una alarma a la estación en tierra.

Allí, se avisa a las personas que se ocupan del monitoreo, quienes van a poder analizar qué es lo que está ocurriendo desde el punto de vista humano para luego dar aviso a los bomberos, a los fines de que se pueda organizar un rápido despliegue antes de que el incendio se expanda y se vuelva más difícil de controlar".

Reforestaciones

El uso de los Drones en relación con la protección de los bosques, consiste en la reforestación mediante la dispersión de las semillas, ya que poseen un gran potencial para aumentar el area de dispersión de las semillas a gran escala.

En particular hay diversos proyectos en los cuales se prevee el uso de drones para dispersar semillas con el objeto de contribuir a restaurar las zonas devastadas por los incendios y evitar así problemas de erosión y pérdida de la biodiversidad,

La utilización de drones para reforestar viene en aumento por la problemática existente en algunas zonas de acceder con los equipos y mano de obra necesarios para plantar una semilla, teniendo en cuenta que el proceso de siembra tradicional, puede ocupar un largo periodo de tiempo si se trata de grandes extensiones a plantar. Algunas empresas proponen utilizar un multirrotor equipado con un GPS, una cámara óptica, una cámara multispectral y un recipiente donde guardará las semillas.

Para una correcta plantación, el dron realiza una topografía del terreno, donde recopila información del mejor enclave para ubicar la planta, respetando las distancias mínimas para un correcto desarrollo. Tras ello se calcula de forma automática una ruta para tardar el menor tiempo posible, en los procesos de plantación y recarga de semillas.

Las semillas utilizadas para este proceso, deben estar introducidas en una capsula previamente germinadas, para favorecer el agarre y el desarrollo en etapas tempranas, por lo que el dron solo tiene que recorrer la ruta prefijada y abrir el soporte para que caiga la capsula en el lugar calculado.



Proceso de plantacion mediante un dron.

Tareas de control

Los drones tienen muchos usos potenciales también en el sentido de controlar las actividades forestales. Sobre todo en detectar actividades de aprovechamiento forestal clandestinas, porque si bien es importante sembrar para cubrir los espacios que ya han sido talados, no lo es menos preservar los bosques ya maduros.

Los **bosques maduros** aportan enormes beneficios: son moduladores de flujos hidrológicos y conservadores del suelo, constituyendo uno de los aspectos más importantes de la biosfera de la Tierra, son hábitats para gran variedad de especies animales, y por último juegan un importante papel en el ciclo global del carbono, como reservorios estables de carbono y su eliminación conlleva un incremento de los niveles de dióxido de carbono atmosférico.

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO CON DRONES

Las etapas para la obtención de un producto cartográfico comprenden cuatro fases, para la obtención de los datos y para el procesado de los mismos:

1. **Planificación de vuelo,**
2. **Apoyo terrestre,**
3. **Registro fotográfico,**
4. **Procesado de las imágenes y cálculos.**

1.- PLANIFICACIÓN DE VUELO

El diseño del vuelo se hace en función de la resolución o de la escala que se pretenda obtener, del tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a relevar y condiciones meteorológicas imperantes, fundamentalmente la velocidad del viento. Pueden programarse varias misiones, variando los parámetros.

Para la ejecución del vuelo fotogramétrico hay que hacer una planificación del mismo de forma que, a partir de una resolución fijada y teniendo en cuenta las características del equipo fotográfico, se determinen altura y velocidad del vuelo así como tiempos de disparo y distancias entre pasadas para asegurar los recubrimientos fotográficos necesarios para su posterior tratamiento.

La planificación del vuelo del drone es el proceso que tiene mayor influencia en la calidad de los resultados.

Hay dos aspectos que suelen ser el origen de problemas a la hora de realizar fotogrametría con drones:

1. Insuficiente solape entre imágenes.
2. Inadecuada localización / orientación de las fotos.

Citaremos las principales aplicaciones que se utilizan para el cálculo y programación de los vuelos.

Mission Planner

Mission Planner es una completa aplicación de estación terrestre la cual nos permite crear un proyecto de piloto automático, en dicho proyecto se puede crear una ruta de coordenadas y alturas. El software utiliza mapas base de diferentes fuentes y trabaja con coordenadas geográficas, planas etc.

Es una aplicación muy completa, con la que podremos configurar infinidad de parámetros de nuestro dron y de nuestra controladora. Está disponible para Windows pero también existe una versión multiplataforma llamada APM Planner. Con este software tendremos que planificar nuestro vuelo desde el PC y posteriormente pasar la misión a nuestro dron.



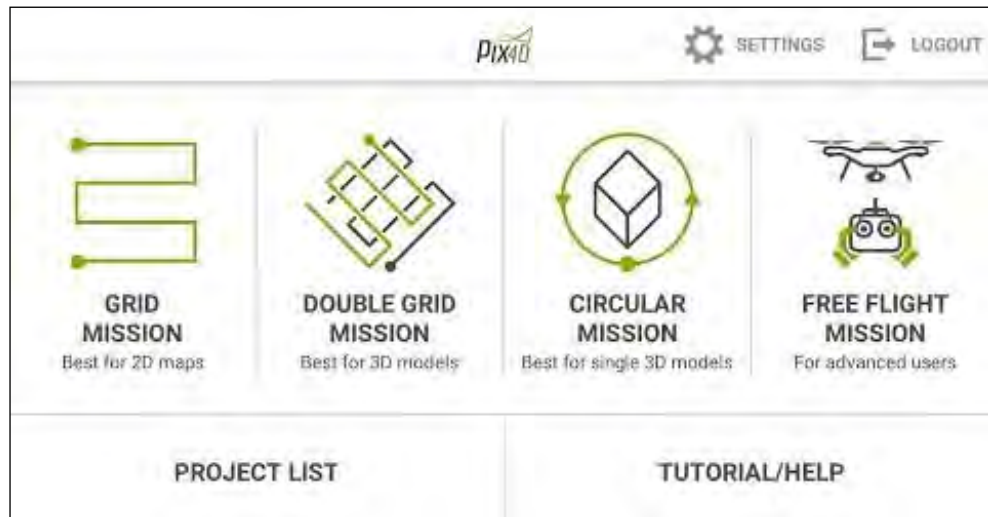
Software Mission Planner para la planificación de vuelo. Polígono a volar se corresponde con el INSIMA, El zanjón)

Pix4d Capture

Es una de las aplicaciones más conocidas para la planificación de vuelo. Se trata de una aplicación móvil disponible tanto para Android como para iOS. Es compatible con la mayoría de drones profesionales más comercializados (phantom, inspire, mavic, bebop 2, 3dr solo...). Tiene una integración perfecta con los diferentes sistemas de software del fabricante.

Esta app permite definir vuelos en forma de cuadrícula, doble cuadrícula (solapando dos cuadrículas perpendiculares), vuelos circulares, incluso unir varios de los anteriores dentro de un único vuelo.

Con esto tenéis aseguradas las reconstrucciones tanto de mapas planos, volúmenes y objetos tridimensionales.



Interfase del Pix4Capture

El funcionamiento de esta aplicación es realmente sencillo. Una vez que tengamos clara la zona que queremos mapear, abrimos la aplicación y seleccionamos el área a sobrevolar. Como en otras apps, es muy sencillo configurar aspectos relativos a nuestro vuelo: velocidad, ángulo de inclinación de la cámara o el porcentaje de solape entre imágenes.

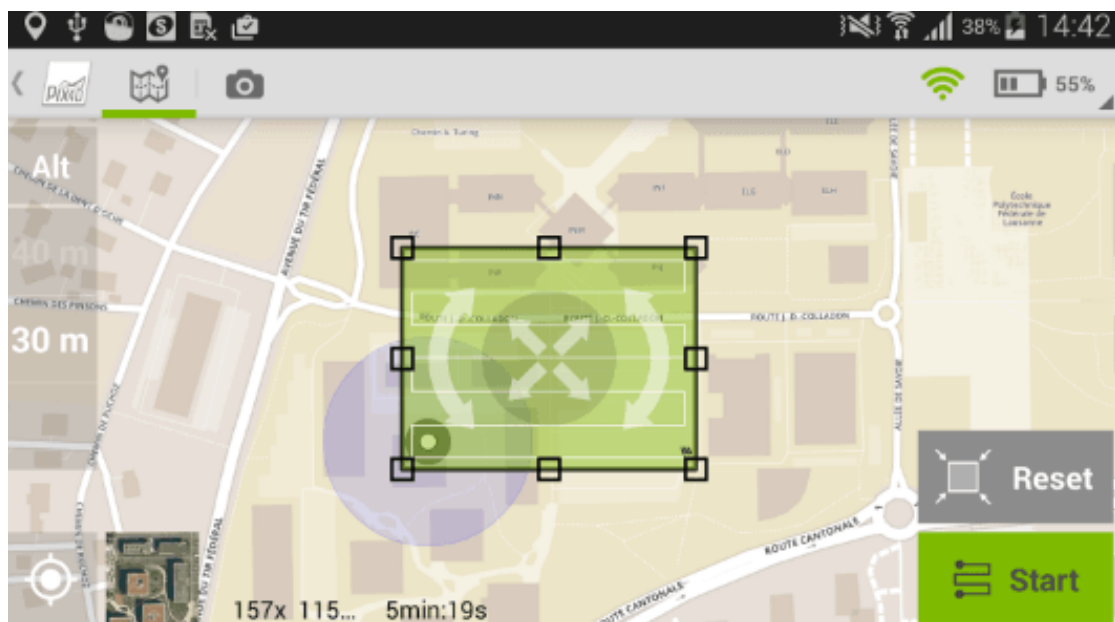
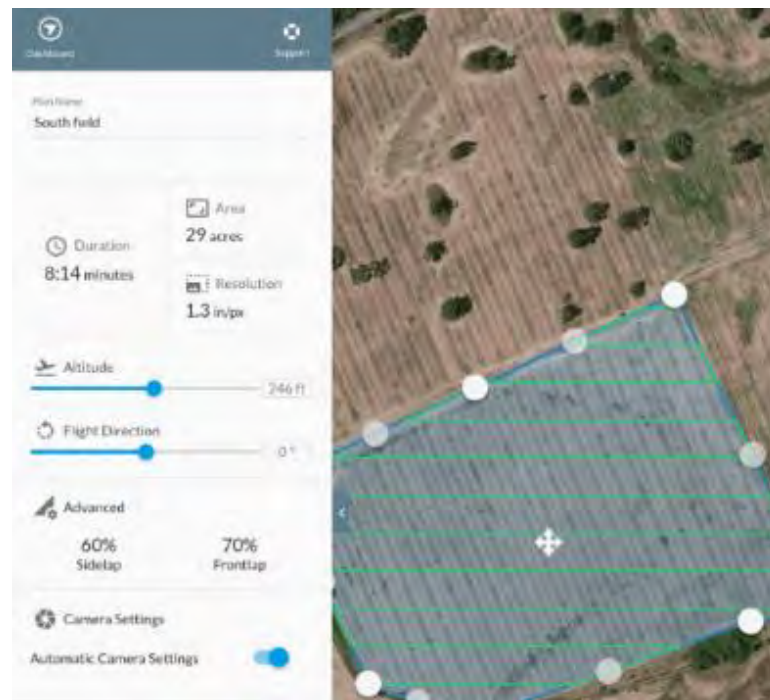


Imagen obtenida de pix4d.com, durante la selección del área a volar.

Una vez definido y calculadas las rutas, la aplicación se comunicará con nuestro dron y éste empezará el vuelo de forma autónoma.

DroneDeploy

Este planificador de vuelo se caracteriza por ser muy intuitivo y sencillo de utilizar. La aplicación está disponible tanto para dispositivos Android como iOS y es compatible con la mayoría de los drones de la firma DJI.



Superficie a volar y dirección de vuelo en dronedeploy

La planificación del vuelo del drone es realmente sencilla y muy similar a la aplicación de Pix4d. Primero seleccionaremos el área que queremos sobrevolar y seguidamente debemos de elegir los diferentes parámetros como la altura y el solapamiento lateral y longitudinal. Seguidamente la aplicación hará un checklist de que todo esté correcto y el drone comenzará el vuelo de forma autónoma.

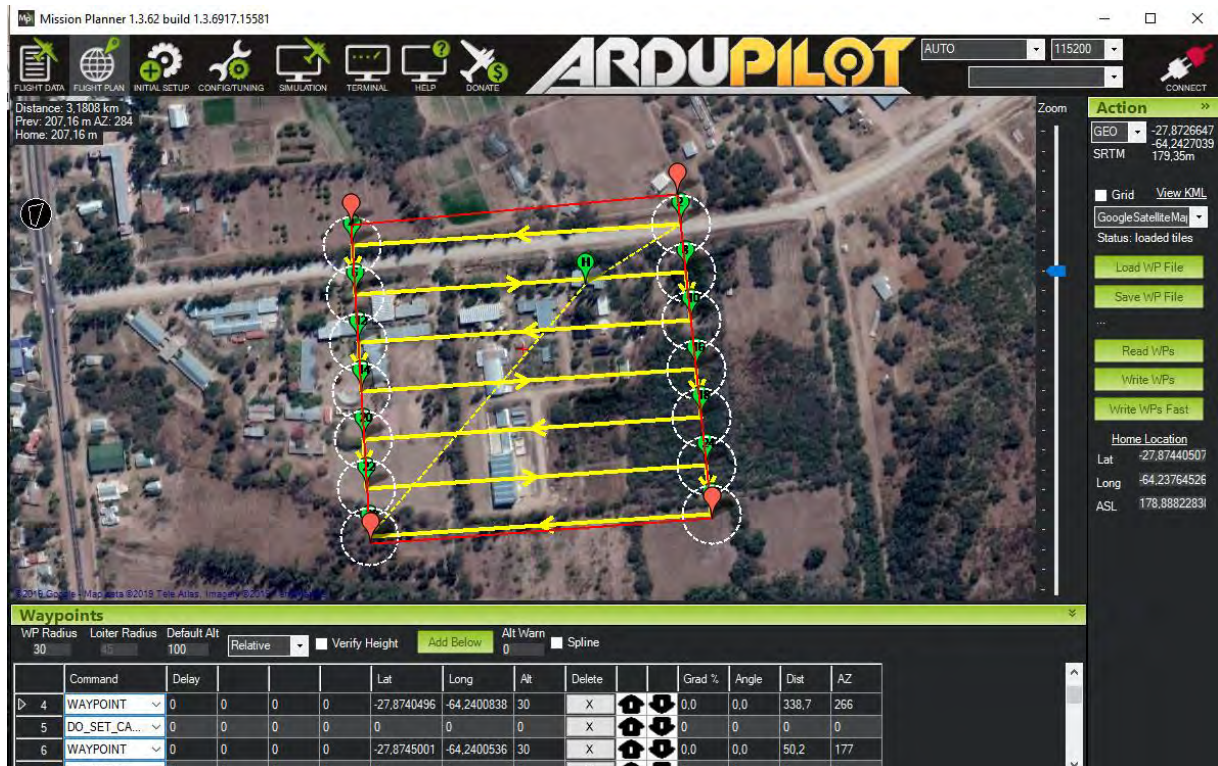
Una funcionalidad interesante es que es posible añadir un vuelo circular al final de la misión.

Recomendación: como toda tecnología, los software evolucionan rápidamente, por lo que siempre habrá múltiples opciones, así que lo mejor es probar diferentes apps y elegir cual es la que nos resulta más útil.

En líneas generales, se realiza un plan de vuelo definiendo recorridos con waypoints que constituyen la ruta que seguirá el drone capturando imágenes.

Para la delimitación de la zona de vuelo se utiliza en general una imagen georreferenciada obtenida desde el Google Earth que fue exportada al programa, o que viene por defecto configurada en las distintas aplicaciones.

En Mission Planner se programan los recorridos ingresando parámetros tales como distancia entre tomas, porcentaje de superposición entre las imágenes consecutivas, altura de vuelo, tiempo de obturación de la cámara, velocidad de ascenso o desplazamiento del aparato; además se marcan los waypoints sobre los que se producirán los registros fotográficos.



Planificación de vuelo con Mission Planner.

Cada misión y sus valores asociados se guardan en la memoria del Módulo de piloto automático (APM), para la realización del vuelo y para su posterior utilización en posproceso.

2.- APOYO TERRESTRE

Para el apoyo topográfico se colocan referencias o señales (dianas), en toda la superficie a fotografiar para la obtención de los puntos de apoyo con coordenadas G.P.S. Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno.

Los puntos de control en los vuelos tripulados y no tripulados son de vital importancia, ya que de ellos depende la georreferenciación del proyecto y son los que garantizan que nuestros productos, como modelos digitales de terreno no van a estar desconfigurados ni en posición ni en altura.

Para ello pueden utilizarse:

Receptor GNSS

- Las precisiones de los puntos de apoyo deben estar acordes con la escala del producto, por lo que la medición con GPS deberá ser realizada en método diferencial.

Será útil para la medición de puntos de control o targets en el suelo. Estos puntos de control pueden ser elementos naturales fácilmente reconocibles o preseñalizados mediante dianas de puntería o señales.

Además esta tecnología nos puede servir para establecer una red topográfica inicial y enlazar con el sistema geodésico de referencia, si es que la zona donde vamos a trabajar carece de ello.

Estación total

- Normalmente, en este tipo de trabajos nos encontraremos elementos elevados como torres o tejados en los que no podremos medir puntos utilizando el GPS. Mediremos así puntos de control en pequeñas dianas de puntería que podamos colocar o si no es posible en clavos, tornillos o detalles de la mampostería. Es importante hacer croquis de estos puntos para no cometer errores en el procesamiento.

Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno, estos también deben identificarse claramente en las fotografías, para poder establecer una correcta correlación.

En el reconocimiento preliminar de campo se determinan los lugares ideales para el emplazamiento de puntos de control, pero en muchos casos, estos pueden llegar a ser impracticables debido a la restricción de la propiedad privada, a la obstrucción por vegetación, falta de caminos etc.



Punto base para medición diferencial, y puntos de control en area de estudio.

El tamaño del pixel en el terreno, limitará la mínima dimensión que deben tener las marcas o dianas a utilizar.

Es de obvio razonamiento que un solo píxel no es suficiente a la hora de detectar una marca en el terreno dentro de la fotografía. Se necesitan por lo menos 3 o 4 píxeles para lograrlo. Para el caso de que se quiera realizar un vuelo con un tamaño de pixel de 6 cm., por lo tanto las marcas que materialicen puntos de apoyo y/o de control deben tener una dimensión mínima de 18 cm x 18 cm.



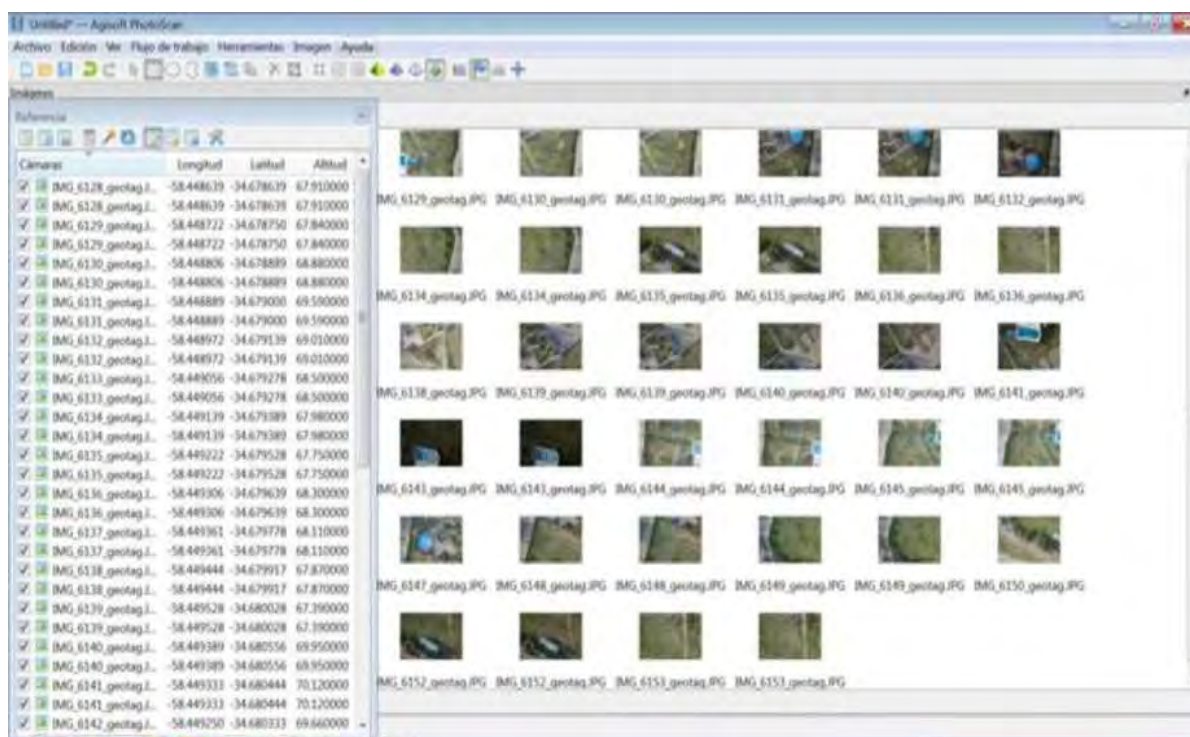
Derecha: Diana sobre base. Izquierda: Foto en la zona de base, se observa la diana utilizada.

En algunos casos bastaran objetos preexistentes, que deberan buscarse a campo, Los fenómenos ideales (y los más utilizados en el trabajo) para que quede claramente representado un punto es un cruce de dos líneas definidas por distintos materiales. Ello provoca un contraste que es fácilmente detectable en las fotografías.

3.- REGISTRO FOTOGRÁFICO

Las imágenes se obtienen según el plan de vuelo planificado, entonces se registra una imagen en cada punto waypoint programado. Mientras esto ocurre se puede visualizar en tiempo real toda la información de telemetría, estado del dispositivo y posición del mismo así como también se puede hacer un seguimiento en tiempo real del dron a través de la cámara de video que lleva a bordo.

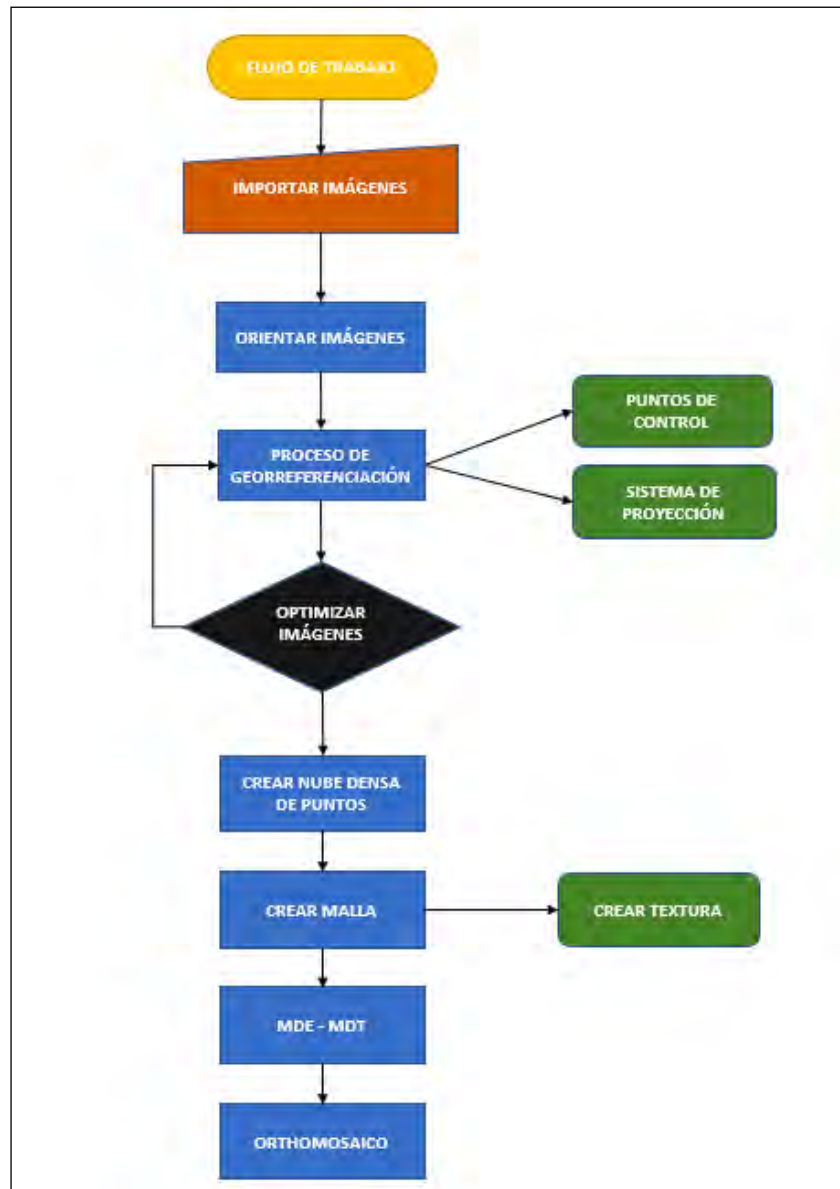
Las imágenes se guardan en la memoria de almacenamiento de la cámara y tras finalizar el vuelo se realizará en gabinete la descarga de datos de telemetría de vuelo e imágenes para el posterior procesamiento de dicha información asociando los datos de vuelo al momento de toma de cada imagen.



Lista de fotografías

4.- PROCESADO DE LAS IMÁGENES Y CÁLCULOS

A continuación, se realiza un ejemplo del procesamiento de fotografías en el software Agisoft Photoscan. El vuelo fue realizado con un Dron PHANTOM 4



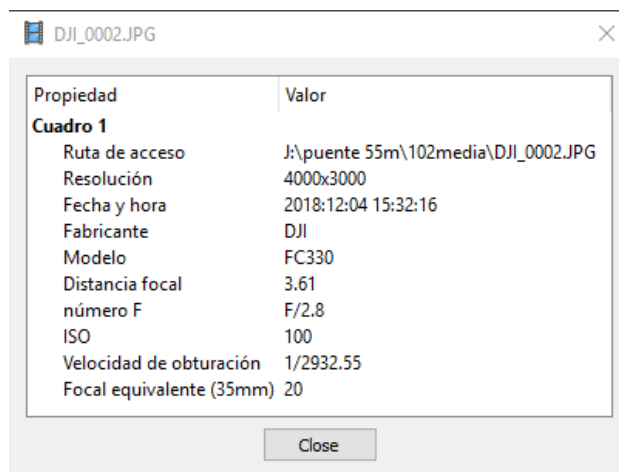
Flujo de trabajo

El primer paso a seguir es importar nuestras imágenes, para esto vamos al “workspace” o espacio de trabajo, procedemos a seleccionar la carpeta de las imágenes y posteriormente procedemos a cargarlas.

Importar Imágenes

Los datos asociados a cada imagen son:
Coordenadas GPS según el sistema configurado.

- Actitud del drone (yaw, pitch y roll, la rotación del avión en los tres ejes de navegación).
- Altura de vuelo
- Distancia Focal de la cámara.



Datos de Fotografía (individual)

Cámaras	Este est (m)	Norte est (m)	Alt. est (m)	Precisión (m)	Error (m)	Yaw est (deg)	Pitch est (deg)	Roll est (deg)
☐ DJI_099...	4401103.678755	6866683.155523	184.457275	10.000000	72.013314	46.049	-2.416	4.555
☐ DJI_073...	4401193.633542	6866460.442050	187.777377	10.000000	68.312296	46.052	-1.332	-2.139
☐ DJI_066...	4401208.403606	6866393.016843	188.999959	10.000000	67.802826	46.064	0.161	0.706
☐ DJI_061...	4401022.200040	6866529.225257	186.178336	10.000000	75.823366	46.089	22.646	3.383
☐ DJI_074...	4401285.563250	6866593.929495	187.921796	10.000000	68.123767	46.119	-1.238	3.551
☐ DJI_099...	4401110.442918	6866693.228651	184.586940	10.000000	71.797397	46.120	-0.576	4.165
☐ DJI_099...	4401083.360633	6866652.723476	184.814047	10.000000	71.627503	46.149	-1.428	5.088
☐ DJI_081...	4401297.931009	6866701.497655	185.286061	10.000000	70.603248	46.160	0.934	1.748
☐ DJI_066...	4401221.144458	6866411.924645	188.403042	10.000000	68.634490	46.161	1.586	0.256
☐ DJI_074...	4401278.315145	6866583.458993	187.705482	10.000000	68.361938	46.180	-2.033	3.670
☐ DJI_087...	4401221.157578	6866679.662272	187.818805	10.000000	68.226494	46.248	-0.394	0.745
☐ DJI_087...	4401200.715449	6866648.367748	187.273926	10.000000	68.716641	46.297	1.461	0.289
☐ DJI_006...	4401116.514840	6866797.846251	184.823730	10.000000	71.101937	46.383	-1.799	2.328
☐ DJI_093...	4401161.550847	6866680.637206	185.991723	10.000000	70.061171	46.419	-2.580	0.814

Datos de las imágenes

Calibración de cámara

El siguiente paso después de cargar nuestras fotografías y antes de realizar el paso de la georreferenciación se procede a calibrar la cámara en caso tal de que no exista información de la cámara con la que obtuvimos nuestras fotografías, en la mayoría de casos las imágenes se obtienen de cámaras conocidas por el software

El hecho de trabajar con cámaras no métricas obliga a realizar un proceso de calibración de lentes. Dicho proceso básicamente consiste en sacar una serie de fotografías con una metodología estudiada para el posterior cálculo de los parámetros del sensor y de distorsiones de lente.

Agisoft Lens es una utilidad gratuita para la calibración automática de lentes.

La calibración contempla modelos paramétricos completos incluyendo coeficientes de distorsión no lineales. Los parámetros estimados con esta herramienta, pueden ser archivados en formato legible y utilizados en otros productos de Agisoft o de terceros en los que se requiera una calibración precisa de la cámara.

Calibración de cámara

FC330 (3.61 mm)
1023 images, 4000x3000 pix

Tipo de cámara: Normal

Tamaño de píxel en sensor (mm): 0.00156192 x 0.00156192

Distancia focal (mm): 3.61

☐ Film camera with fiducial marks

Valores iniciales Valores ajustados Bandas GPS/INS offset

f: 2331.3261

cx: -16.8417 b1: -5.78605

cy: 6.97111 b2: 0.930159

k1: 0.00291324 p1: 0.000210521

k2: -0.0415297 p2: -0.000198391

k3: 0.073378 p3: 0

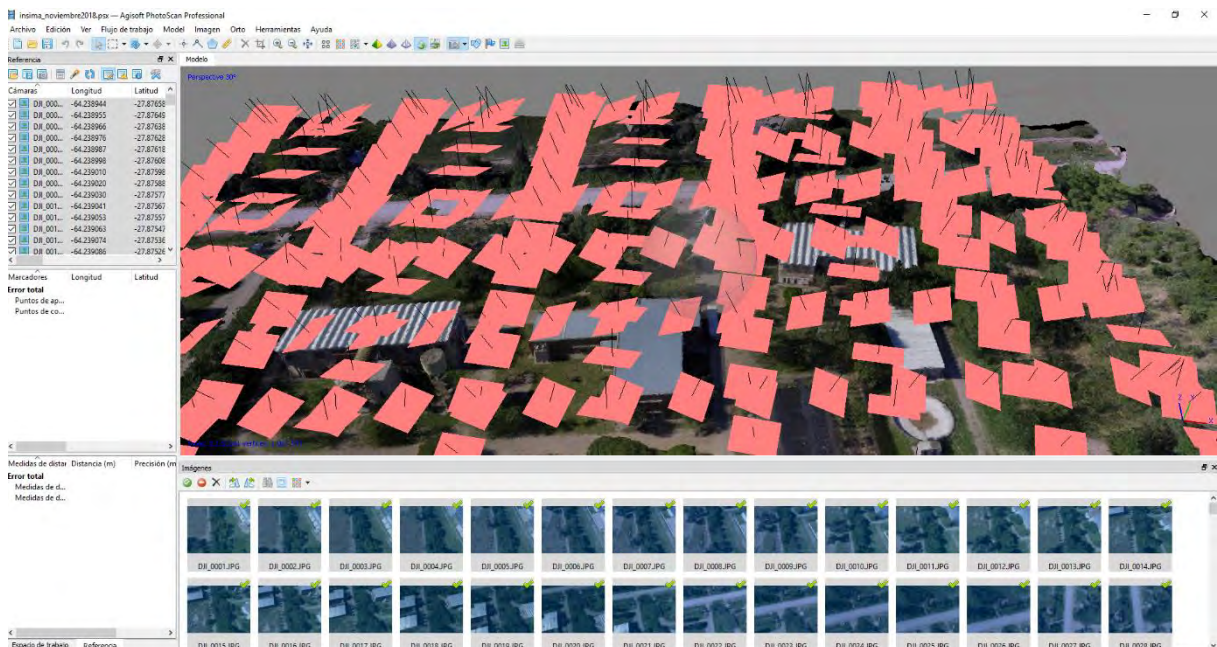
k4: -0.0313789 p4: 0

Cámara	Resolución	Modelo de cámara	Distancia focal	Fecha y hora
DJI_0002.JPG	4000x3000	FC330	3.61	2018:12:04 15:32:16
DJI_0003.JPG	4000x3000	FC330	3.61	2018:12:04 15:32:18
DJI_0004.JPG	4000x3000	FC330	3.61	2018:12:04 15:33:20

Parametros calculados para camara FC 330 (Phantom 4).

Orientación de imágenes

El primer procedimiento para orientar las imágenes consiste en realizar una geolocalización o geo-etiquetado de las imágenes.



Reconstrucción de la posición de las cámaras, INSIMA, El Zanjón

El programa en el que se realizó la planeación del vuelo nos permite descargar un archivo de coordenadas geográficas que fueron asignadas a cada punto en donde el Drone tomó una fotografía.

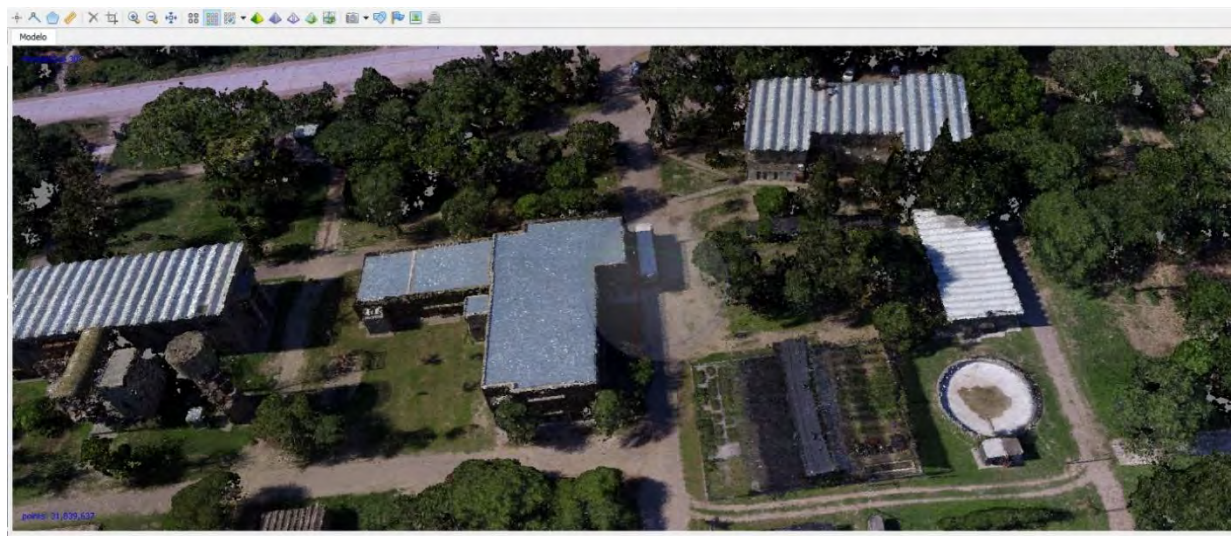
Una vez el programa termina el proceso de alineación obtenemos como resultado una nube de puntos con las fotografías alineadas.

Puntos de control

La georreferenciación de las imágenes en el software consiste en cargar las coordenadas conocidas de los puntos de control (materializados) que obtuvimos en campo con nuestro GPS diferencial o con nuestra estación total, y posteriormente ubicarlos en las fotografías (por esta razón es de gran importancia materializar o marcar bien los puntos en el terreno para que se visualicen con facilidad en las fotografías). Como lo decíamos anteriormente la georreferenciación se realiza con el fin de que las fotografías no queden desconfiguradas ni en posición (X, Y), ni en altura (z). Además de que los productos tengan una localización geográfica correcta para poder empalmar con cualquier otro proyecto o realizar un análisis espacial apropiado.

Nube densa de puntos

Teniendo georreferenciado y optimizado nuestro proyecto procedemos a continuar con nuestro flujo de trabajo, el siguiente paso a realizar es la nube densa de puntos para este proceso nos vamos a “workflow” o flujo de trabajo y picamos en “build dense cloud” o construir nube densa de puntos. Igualmente, que en el proceso de alineación de las fotos, el software nos pide la calidad con la que deseamos nuestros productos. Es importante tener en cuenta que los procesos se realizan internamente en el computador y no en el software.



Nube densa de puntos. INSIMA, SOOM e IITM

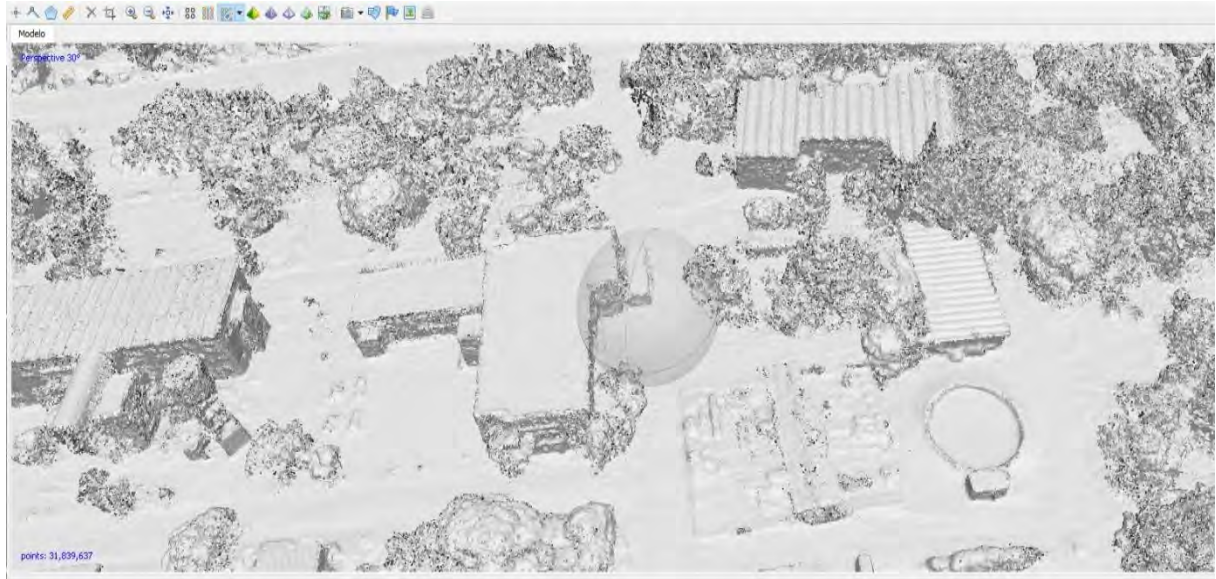
La calidad del producto también depende del filtrado de profundidad que realice el software, para esto se puede desplegar un campo en el cual podemos escoger si queremos que este desactivado, sea un filtrado leve, moderado o agresivo.

Teniendo una nube densa de puntos georreferenciada podemos generar diferentes productos como: superficies (curvas de nivel), MDE, MDT entre otros. Estos productos pueden ser generados en diferentes tipos de software como ArcGIS, Autocad civil 3D, global mapper, etc. Para guardar la información de la nube de puntos en un archivo compatible con dichos programas procedemos a exportar la nube de puntos.

Malla

Seguidamente de generar la nube densa de puntos podríamos crear la malla que nos servirá de base para generarle una textura al modelo. Para generar la malla vamos a

el botón “workflow” o flujo de trabajo, y seleccionamos la opción “build mesh” o construir malla. De igual forma que en los procesos anteriores seleccionamos la calidad con la que deseamos construir la malla, seleccionado el número de caras que se desean, el tipo de superficie, eligiendo la fuente de los datos que en este caso serán de la nube densa de puntos y seleccionando el tipo de interpolación.



Malla de triángulos irregulares (TIN).

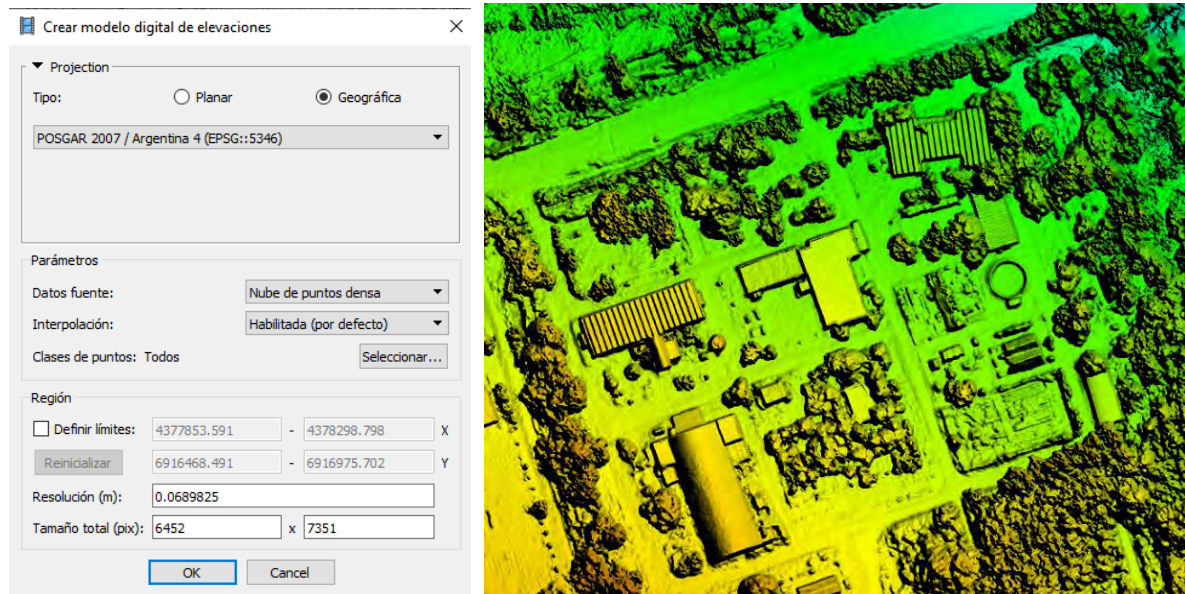
Textura

La textura del proyecto se genera a partir de la malla calculada, continuando con el proceso, nos vamos a “workflow” o flujo de trabajo desplegamos las opciones y seleccionamos “build texture” o crear textura, de igual forma podemos cambiar los parámetros como intensidad o corrección de la textura por color o rellenos de agujeros del modelo.

MDE – MDT

El modelo digital de elevación es uno de los productos con mayor interés en el procesamiento de imágenes, ya que a partir de esta imagen ráster es posible generar modelos digitales de terreno, curvas de nivel, entre otros. Para la creación del MDE es necesario continuar con el “workflow” o trabajo de flujo, picamos en Workflow y nos vamos a “Build DEM” o crear modelo digital de elevación, y procedemos a cambiar los parámetros.

En esta parte nuestro proyecto ya tiene un tamaño de pixel con relación al terreno asignado, en este caso cada pixel mide 0.069 m en el terreno.



Modelo de Elevación Digital, INSIMA,

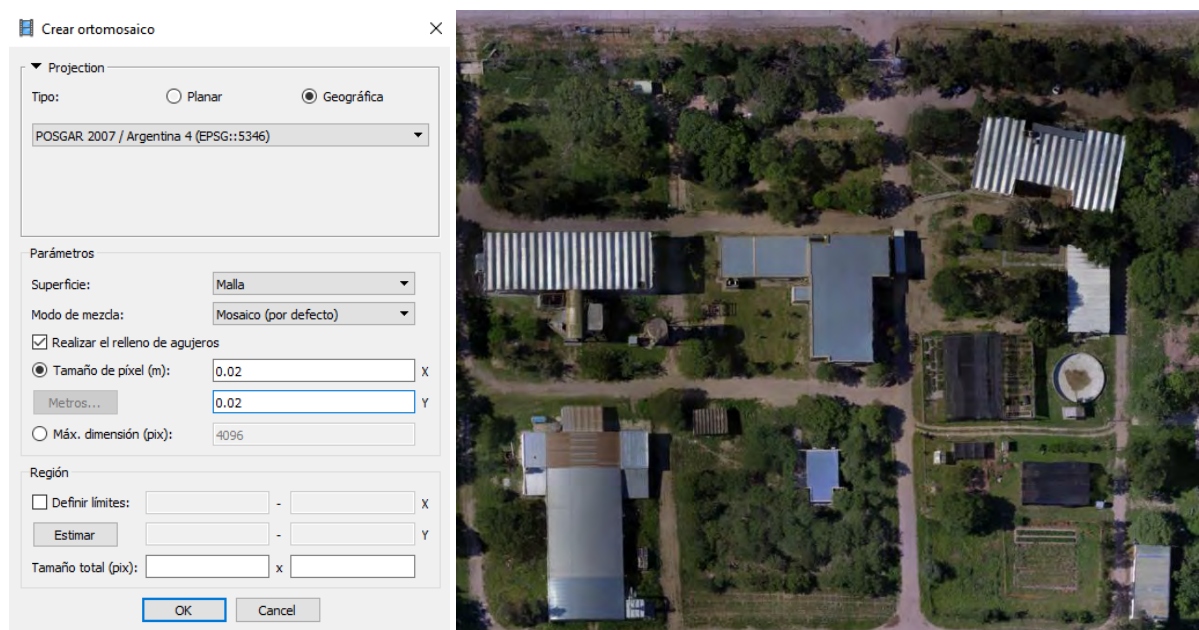
En el cuadro de dialogo, se observa que debe indicarse el sistema de coordenadas Geográficas, en este caso 4° Faja de POSGAR 2007.

Ortomosaico

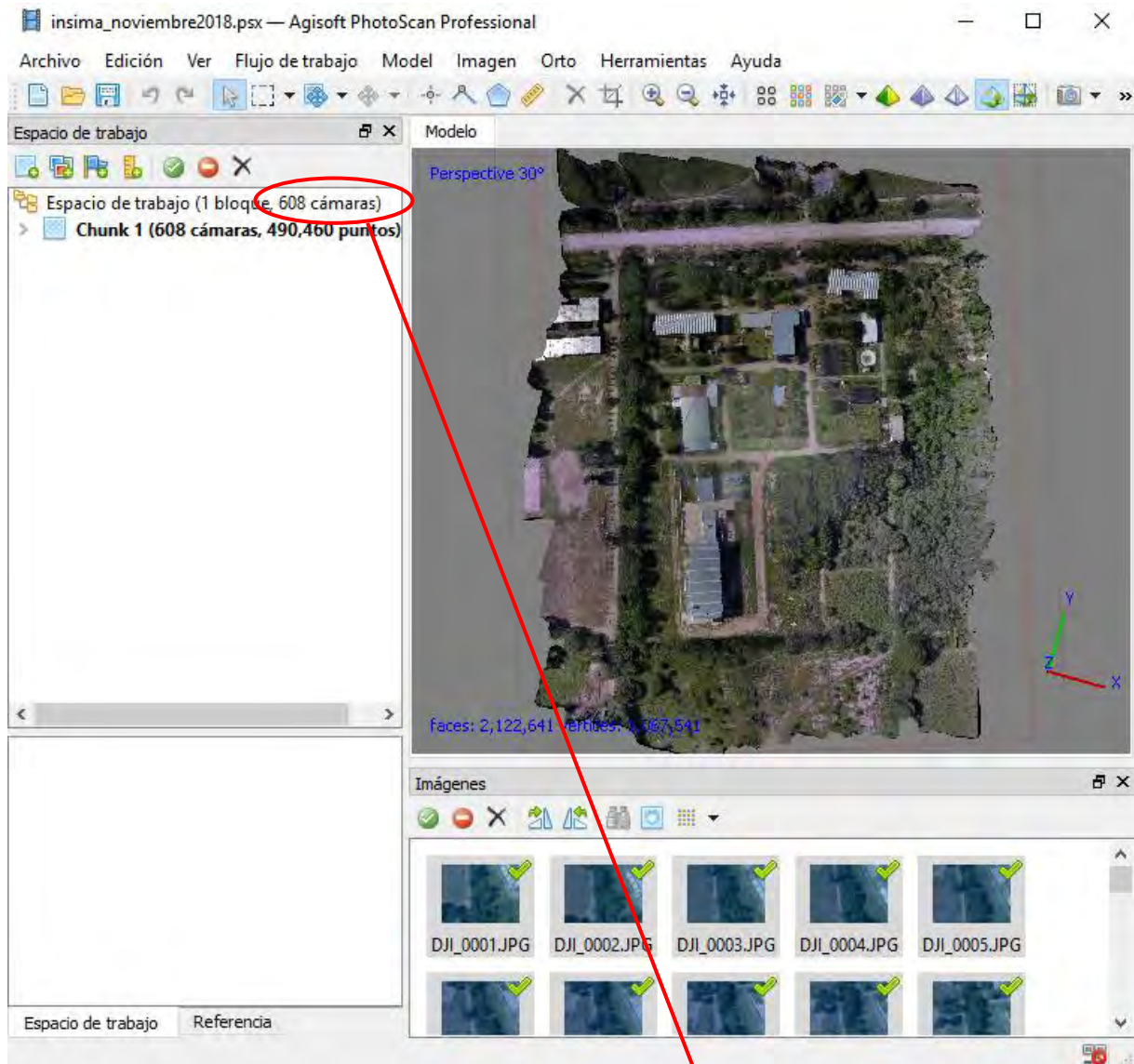
Un Ortomosaico es un producto de imagen georreferenciado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes en el que la distorsión geométrica se ha corregido y orto-rectificado. (ESRI, 2017).

Este es el último proceso de imágenes y como producto final en él se pueden realizar medidas lineales de gran precisión y sirve como base para cualquier tipo de sistema de información geográfica.

Para realizar el Ortomosaico nos dirigimos a “workflow” o trabajo de flujo y damos clic en “build Ortomosaic” o crear Ortomosaico y procedemos a cambiar los parámetros según necesitemos el resultado.



Resultado Final Ortomosaico con un tamaño de píxel de 2 cm..



Ortomosaico compuesto por las 608 imágenes registradas

REPORTE FINAL

El último paso a realizar es generar el reporte final de los procesos, para eso damos clic derecho en el espacio de trabajo, luego desplegamos “export” o exportar y luego “generate report” o generar reporte.

A continuación se anexa un reporte generado por el soft Agisoft. En este caso se refiere a un vuelo sobre el puente sobre el río dulce en “La Dormida”.

Datos del levantamiento

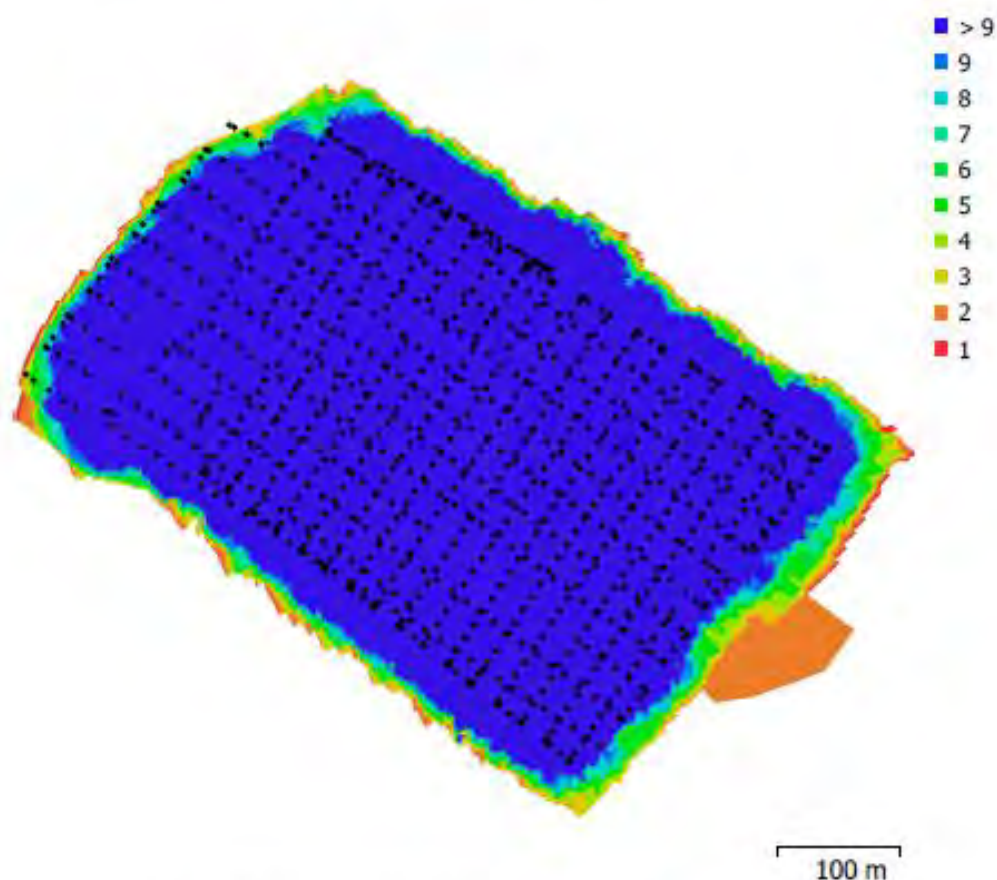


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 1,023

Altitud media de vuelo: 64.2 m

Resolución en terreno: 2.27 cm/pix

Superficie cubierta: 0.236 km²

Posiciones de cámara: 1,021

Puntos de enlace: 605,921

Proyecciones: 2,350,642

Error de reproyección: 2.08 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC330 (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

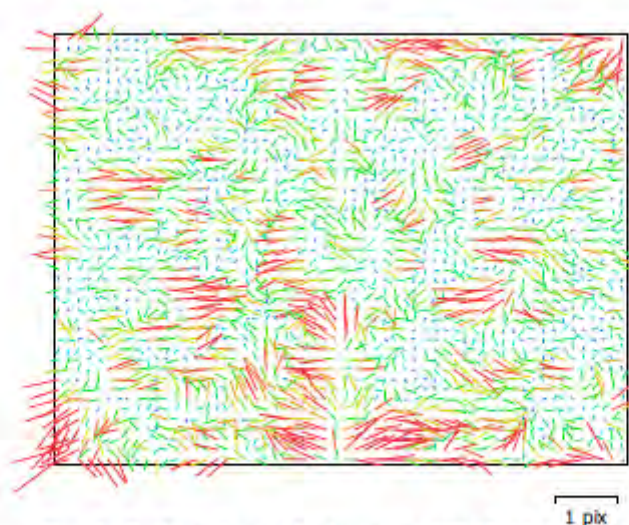


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC330 (3.61 mm).

FC330 (3.61 mm)

1023 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
4000 x 3000

Distancia focal
3.61 mm

Tamaño de píxel
1.56 x 1.56 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
B1	-5.78605									
B2	0.930159									
K4	-0.0313789									
F	2331.33	0.14	1.00	-0.01	-0.63	-0.13	0.18	-0.14	-0.01	-0.08
Cx	-16.8417	0.052		1.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.65	0.00
Cy	6.97111	0.062			1.00	-0.02	-0.07	0.05	-0.00	0.44
K1	0.00291324	5.7e-05				1.00	-0.93	0.88	-0.00	-0.13
K2	-0.0415297	0.00012					1.00	-0.98	0.00	0.00
K3	0.073378	7.4e-05						1.00	-0.00	-0.01
P1	0.000210521	5.5e-06							1.00	-0.01
P2	-0.000198391	4.8e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestres



Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en X. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control de calidad con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
3	36.8727	59.4585	23.1237	69.9637	73.686

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
point 1	56.5175	-51.3925	-1.2324	76.3998	1.082 (35)
point 2	-6.34606	86.4348	0.24098	86.6678	0.731 (22)
point 3	-29.0568	-22.2214	40.0318	54.2276	0.976 (30)
Total	36.8727	59.4585	23.1237	73.686	0.967

Tabla 4. Puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

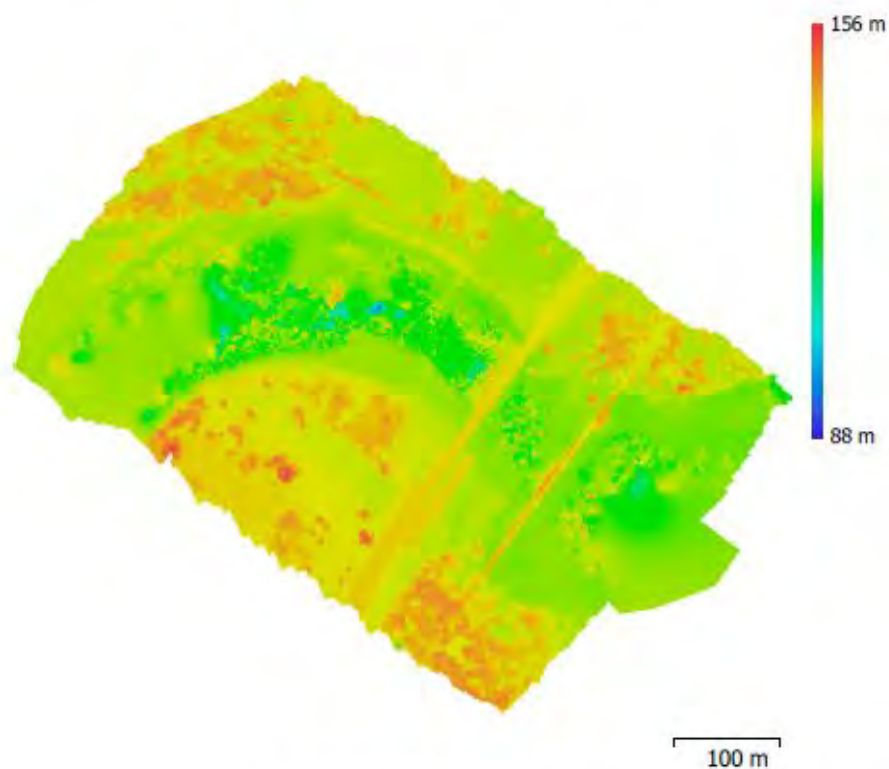


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 9.07 cm/pix
 Densidad de puntos: 122 puntos/m²

Parametros de Prosesamiento

Generales

Cámaras	1023
Cámaras orientadas	1021
Marcadores	3
Sistema de coordenadas	POSGAR 2007 / Argentina 4 (EPSG::5346)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	605,921 de 714,753
RMS error de reproyección	0.56277 (2.07797 pix)
Error de reproyección máximo	10.1996 (110.957 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.3435 pix
Superposición efectiva	4.83299

Parámetros de orientación

Precisión	Alta
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	19 minutos 27 segundos
Tiempo de orientación	25 minutos 10 segundos

Parámetros de optimización	
Parámetros	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	1 minuto 53 segundos
Nube de puntos densa	
Puntos	32,233,903
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	33 minutos 55 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	2 horas 13 minutos
Modelo	
Caras	2,148,925
Vértices	1,082,900
Textura	4,096 x 4,096, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	2,148,926
Duración del procesamiento	21 minutos 12 segundos
Parámetros de texturizado	
Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	4 minutos 46 segundos
Tiempo de mezcla	8 minutos 51 segundos
Modelo de teselas	
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Nube de puntos densa
Tamaño de tesela	256
Duración del procesamiento	1 hora 15 minutos
DEM	
Tamaño	9,632 x 8,963
Sistema de coordenadas	POSGAR 2007 / Argentina 4 (EPSG::5346)
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	1 minuto 47 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	31,869 x 26,243
Sistema de coordenadas	POSGAR 2007 / Argentina 4 (EPSG::5346)
Canales	3, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Malla
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	56 minutos 24 segundos
Software	
Versión	1.4.0 build 5076
Plataforma	Windows 64

CONCLUSIONES FINALES

Las imágenes que se obtienen con un drone tienen una resolución mucho mejor de lo convencional. El hecho de realizar un vuelo a alturas muy inferiores que en los vuelos fotogramétricos convencionales hace que la escala de trabajo sea mucho mayor. pudiéndose obtener ortofotografías con un tamaño de píxel entre 1 y 5 cm.

El sistema de trabajo es muy práctico y permite, a diferencia de los vuelos convencionales, realizar para un mismo proyecto distintos vuelos con inmediatez de resultados.

Dada la facilidad con que los drones pueden utilizarse para violar la privacidad de terceros, muchas personas se han fijado la meta de deshacerse de ellos.

La policía de Francia como la de Holanda ya cuentan con águilas entrenadas específicamente para la caza de drones, lo cual increíblemente ha dado muy buenos resultados.



Águila entrenada para la caza de drones.

Quizá el mayor reto para continuar con el desarrollo de drones civiles son las regulaciones a las que se enfrentan, ya que éstas han frenado una buena cantidad de proyectos, sobre todo independientes, ya que la mayoría tardan demasiado en conseguir permisos y tienen muchas restricciones. Una de las restricciones más importantes es el tamaño permitido del dron, pues su ligereza los vuelve más vulnerables a los fenómenos atmosféricos. Esto ha obstaculizado el desarrollo legal de drones más grandes y estables, que permitan mayor precisión.

Tal parece que el fin de estas políticas es que los ejércitos puedan monopolizar esta tecnología, pero el número de compañías que desarrolla drones crece cada año.

En la actualidad la tecnología de drones está transformando muchos campos en los que la fotografía aérea es una alternativa para medición y procesamiento, en este caso mucho más económico en tiempo y costo para obtener información topográfica, mediante imágenes y aplicando técnicas fotogramétricas. Midiendo puntos de apoyo y procesando las imágenes aéreas con un software específico como por ejemplo el Agisoft Photoscan se pueden crear modelos digitales de elevación, mosaicos ortorectificados y georreferenciados además de nubes de puntos de alta resolución, modelos en 3D con precisión centimétrica que permiten el cálculo de curvas de nivel, medición de áreas y volúmenes y diversos productos que muestran la apariencia real del terreno.

La inclusión de los Drones en los seguimiento de las explotaciones forestales ya sea con carácter métrico para realización de certificaciones y proyectos, como para seguimiento visual del proceso mediante la realización de vuelos regulares que permitan tener una vista global del lote o del area neta bajo aprovechamiento forestal, a lo largo de toda la línea temporal de la misma para su análisis.

La unificación de los datos en cuanto a calidad, precisión, cantidad, homogeneidad temporal, capacidad de procesamiento y análisis en series temporales, hace de los Drones una herramienta muy apropiada para el control de las explotaciones forestales y el análisis del impacto de las mismas.

La variedad de aplicaciones de Drones se amplía considerablemente en el momento que se empieza a trabajar con otro tipo de sensores. Actualmente, la posibilidad de embarcar, no solo cámaras RGB, si no también cámaras multiespectrales, hiperespectrales, térmicas, sensores medioambientales, radar de apertura sintética, LIDAR, etc., abren el abanico de posibilidades para un futuro inmediato.



¿Vuelo Tripulado?. <http://techstory.in/wp-content/uploads/2016/06/Drone.jpg>

BIBLIOGRAFÍA

Administración Nacional De Aviación Civil, legislación drones argentina. <http://www.anac.gov.ar/>

AEROCIVIL. (2015). AERONAUTICA CIVIL . Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/sistema-%20de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas-drones/reglamentacion>

Agisoft Photoscan. (2017). Agisoft. Obtenido de Sugerencias y trucos de soporte: <http://www.agisoft.com/support/tips-tricks/>

Ardupilot. (2016). *ardupilot.org*. Obtenido de <http://ardupilot.org/planner/docs/common-loading-firmware-onto-pixhawk.html>

Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F. (1981). Diseño geometrico de un vuelo fotogrametrico. Bogotá D.C.

Daniel Garijo Verdejo et al., 2009 Control de un vehículo aéreo no tripulado, Universidad Complutense de Madrid, <https://eprints.ucm.es/9477/1/documentacion.pdf>

Domínguez Lavín, A. (junio de 2015). Foto 24. Obtenido de <https://blog.foto24.com/distancia-focal-objetivo/>

ESRI. (2017). ArcGIS PRO. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/generate-an-orthomosaics-using-the-orthomosaic-wizard.htm>

Fotogrametría Aérea I: Procesado de vuelos mediante Agisoft PhotoScan <https://sigyteledeteccionblog.wordpress.com/2017/04/01/fotogrametria-aerea-i/>

Fotogrametria Practica . (2015). *fotogrametria practica blogspot*. Obtenido de <http://fotogrametriapractica.blogspot.com.co/2015/03/uso-de-drones-para-la-actualizacion.html>

García García, Israel , 2017, estudio sobre vehículos aéreos no Tripulados y sus aplicaciones, universidad de valladolid, España. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/23021/1/TFG-P-528.pdf>

Hernandez de la Rosa, Y. (2009). *Universidad de Ciencias Médicas*. Obtenido de <http://www.revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/viewArticle/13/33>

http://www.isa.uma.es/C11/Ingenier%C3%ADa%20de%20Sistemas/Document%20Library/CONTROL_DE_SISTEMAS.pdf

<http://www.stickpng.com/es/img/miscelaneos/militar/bombas/bomba-v1-aleman-volante>

<https://hablemosdrone.com/tutoriales/como-crear-orthophoto-y-dem-a-partir-de-imagenes-de-un-dji-phantom-4-con-photoscan/>

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>

INGENIO TRIANA . (DICIEMBRE de 2015). *INGENIO TRIANA BLOGSPOT*. Obtenido de <http://ingenio-triana.blogspot.com.co/2015/12/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-drones.html>

Jose Luis Esteban Herreros Et. Al., 2015, Consejería de Economía y Hacienda, - Comunidad de Madrid. <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>

Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (drone) <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/14055/2/ZafraGranadosYesidRomairoAnexo-1.pdf>

Mata, J. A. (2016). *Calibración geométrica de cámaras no métricas. Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsión*. Obtenido de http://oa.upm.es/39454/1/JULIAN_AGUIRRE_DE_MATA.pdf

Nikon inc. (2017). *Nikon.com*. Obtenido de <http://www.nikon.com.mx/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/entendiendo-la-distancia-focal.html>

Pablo Ruipérez Martín , Diseño y Fabricación de un Dron, Proyecto Final de Grado , Universidad Politécnica De Valencia, España., <https://www.coursehero.com/file/30996557/RUIP%C3%89REZ-Dise%C3%B1o-y-fabricaci%C3%B3n-de-un-dron-mediante-impresi%C3%B3n-3Dpdf/>

Phantom 4 <https://www.dji.com/phantom-4/info>

Rodriguez Sanchez , L. (05 de 2004). *INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI*. Universidad de los Andes Venezuela. (s.f.). *Fotogrametría Digital parte 1*. Obtenido de web del profesor: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametría/fotogrametriadigitalparte1.pdf>

Vuelo Artificial . (2015). *VueloArtificial.com*. Obtenido de <https://vueloartificial.com/introduccion/primeros-pasos/descargando-el-software-necesario/>

Williams, Matías N, 2018, Estudio de precisiones utilizando un drone, aplicaciones para Agrimensura , universidad nacional de la plata, Facultad de ingeniería, Departamento de Agrimensura

www.wikipedia.org

Software citados

Agisoft Photoscan.
<http://www.agisoft.com/>

ArcGis
<https://www.arcgis.com/index.html>

Autocad
<https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview>

Dronedeploy
<https://www.dronedeploy.com/>

GlobalMapper
<https://www.blumablegeo.com/products/global-mapper.php>

Mission Planner
<http://ardupilot.org/planner/>

Pix4dcapture
<https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>

QGIS
<https://www.qgis.org/es/site/>