

Geología desde los ojos de un dron

Una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros en Ciencias de la Tierra

Proyecto DGAPA/UNAM/PAPIME: PE101020

Unidades Teóricas

+ 633 M

UT-01

Fotogrametría digital: adquisición de fotografías aéreas con dron

+ 712 M

+ 712 M

Macías-Medrano Sergio Enrique

+ 640 M



UNAM / FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



Este producto docente ha sido financiado por la DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIME PE101020 “Geología desde los ojos de un dron: una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”.

Por favor cítanos como:

Macías-Medrano S. (2021), Fotogrametría Digital: adquisición de fotografías aéreas con dron. Unidad teórica UT-01, proyecto PAPIME clave PE101020 (DGAPA-UNAM): “Geología desde los ojos de un dron: una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”. Facultad de Ingeniería, UNAM.

1. Introducción

La fotogrametría aérea digital con drones, ha significado un cambio de paradigma dentro de la cartografía. Algunos autores ([Colima y Molina, 2014](#), [Goodbody et al. 2019](#)) coinciden en que a través de ella es posible obtener fotografías aéreas a gran escala y en lugares inaccesibles, con lo cual, se derivan datos tridimensionales de la superficie terrestre con resultados equiparables a la de otras herramientas, como es el caso de los escáneres aerotransportados ([Goodbody et al., 2019](#)), guardando sus proporciones, debido a las diferentes metodologías que se usan.

Lo anterior es posible con la integración del Sistema Aéreo no Tripulado (UAS por sus siglas en inglés) para la adquisición de las fotografías aéreas de alta resolución ([Pepe et al., 2018](#)), además de que es capaz de ser pilotado de manera remota, por lo que permite hacer un plan de vuelo con el rigor fotogramétrico.

[Merino \(2018\)](#), define al UAS como un conjunto formado por un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) mejor conocido como dron, la estación de tierra o control remoto y el sistema de comunicaciones entre la estación y el dron. A lo anterior agrega que un dron en la actualidad es considerado como una cámara aérea, prueba de ello es el trabajo desarrollado en los materiales que se ponen a disposición junto a esta unidad teórica.

Como se observa, la disciplina se encuentra enmarcada en un contexto de evolución tecnológica. Esto se constata desde sus orígenes, tal y como lo documentó [Caire \(1977\)](#) con los primeros hitos presentes en el periodo 1839 y hasta la década de los 1970, definidos como: I) La invención de la fotografía en 1839 por Niepce y Daguerre en Francia, II) el desarrollo de la fotogrametría analógica (1900-1960), con la invención de la estereoscopia y el aeroplano dando origen a la estereofotogrametría y III) la fotogrametría analítica (1969-1980).

Sin embargo, en la actualidad, con la evolución tecnológica, surge un nuevo hito, definido por la fotogrametría digital que ha tenido lugar en los últimos 20 años. En este sentido, la investigación de [Fawcett \(2019\)](#) resalta una serie de puntos importantes dentro de la revisión del artículo de [Chandler \(1999\)](#), ícono en la fotogrametría moderna y que en la actualidad pueden ser resueltos de una manera más eficaz. Por ejemplo, Chandler plantea el uso de un sistema de cámaras calibradas y métricas las cuales hoy en día se pueden simplificar mediante el uso de prácticamente cualquier

cámara con su respectiva calibración automática utilizando algún programa de cómputo. Aunque con el desarrollo de las nuevas técnicas de *Structure from Motion* (SfM), se puede omitir el uso de GCP (*Ground Point Control*) o puntos de control, para el caso de un proyecto fotogramétrico, es crucial su consideración ya que lo que se busca es una correcta georreferencia. Con ello se observa que para 1999, Chandler aún no tenía en cuenta que los drones se convertirían en una herramienta fundamental para la fotogrametría digital.

Hablar de la fotografía aérea es abrir un abanico amplio de aplicaciones en diversas disciplinas dentro de las que se encuentran las geociencias. Esta inquietud surgió poco tiempo después de crearse la fotografía, cuando Félix Nadar tomó su cámara fotográfica y se subió a un globo aerostático, para así capturar la primera fotografía aérea, que por desgracia no se conservó. Sin embargo, a partir de ese momento, se hicieron muchos intentos por contar con escenas aéreas utilizando globos, papalotes, cohetes o incluso palomas mensajeras (1858-1897).

Por extraño que parezca, los UAS tienen una historia casi tan antigua como la creación de los hermanos Wright. En el caso del primero, sus fines eran bélicos, sin embargo, para la década de los años 1970 ya existían muchos grupos que entendían el potencial del mapeo con plataformas no tripuladas. Esto representó integrar sensores de navegación y equipo de mapeo en una plataforma con radio control. A la postre esto significó la adquisición de fotografías a bajas alturas y con una alta resolución de imágenes. Si se quiere saber más del tema, se recomienda consultar el trabajo de [Colima y Molina \(2014\)](#).

Para este siglo, la concepción de un UAS ha cambiado mucho, tal y como se ha comentado en esta unidad, con lo que es posible plantearse otro tipo de objetos de estudio que no solo sean superficies con fines de levantamientos topográficos con escala de hasta 1:5,000. Uno de los intereses no solo para la topografía, sino para las geociencias, es la fotogrametría de objeto cercano, que requiere de un plan de vuelo manipulado en tiempo real bien estructurado para adquirir datos. En la actualidad, estas características se cumplen con su integración en los UAS comerciales.

Es entonces que el objetivo de la unidad teórica es definir los parámetros esenciales que intervienen en los planes de vuelo fotogramétrico con dron para la adquisición de fotografías aéreas.

2. Marco teórico de referencia

Hay que recordar que los UAS comerciales, se pueden controlar remotamente a partir de planes de vuelo diseñados con aplicaciones móviles (*apps*) especializadas, dentro de las que se encuentran las relacionadas con la fotogrametría (ver videotutorial *Apps de dispositivos móviles para la generación de vuelos fotogramétricos con dron*).

Esta es una parte importante, ya que, en este tipo de misiones, se consideran los parámetros que van a hacer posible un vuelo en el cual se tenga por objeto la adquisición de fotografías aéreas del área en estudio. En este aspecto, la revisión que realiza [Goodbody et al. \(2019\)](#) sobre la fotogrametría aérea digital, señala un flujo de trabajo a seguir en el cual, se encuentra como paso número uno, la adquisición de fotografías, seguido de la generación de una nube de puntos y posteriormente el procesamiento de esta.

Para el caso de la unidad, nos enfocamos en la adquisición de fotografías aéreas con dron con el rigor que la fotogrametría digital demanda, en donde se identifican cuatro parámetros principales: tipo de sensor con el que se va a capturar la imagen, el traslape de fotografías, la relación que existe entre la altura de vuelo y la representación teórica de un pixel en la realidad, conocido como *Ground Sample Distance* (GSD por sus siglas en inglés) y finalmente las condiciones de iluminación relacionadas con la posición relativa del sol y la configuración de la cámara fotográfica. Sin embargo, de estos cuatro grandes grupos de parámetros se relacionan otros que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Modificado de Goodbody, et al. (2019)

Adquisición de imágenes	
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sensor <ul style="list-style-type: none"> → Resolución → Distancia focal → Tamaño del sensor • Traslape <ul style="list-style-type: none"> → Traslape frontal de fotografías → Traslape lateral de fotografías → Velocidad de vuelo → Intervalo de captura 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura y GSD <ul style="list-style-type: none"> → Altura de vuelo → Relación de escala → Baterías → Almacenamiento • Iluminación <ul style="list-style-type: none"> → ISO → Shutter → Balance de blancos

La agrupación de los parámetros fotogramétricos en cuatro grandes grupos no significa que exista independencia entre ellos, simplemente se organizan de esta manera, para documentar su función de forma que sea más clara a través de su relación directa con el grupo. Sin embargo, como se muestra en la figura 1, los valores de cada parámetro en conjunto determinan un proyecto fotogramétrico en particular, definido por un área de estudio que a su vez se traduce en un plan de vuelo del dron pilotado de manera remota a través de una app especializada.

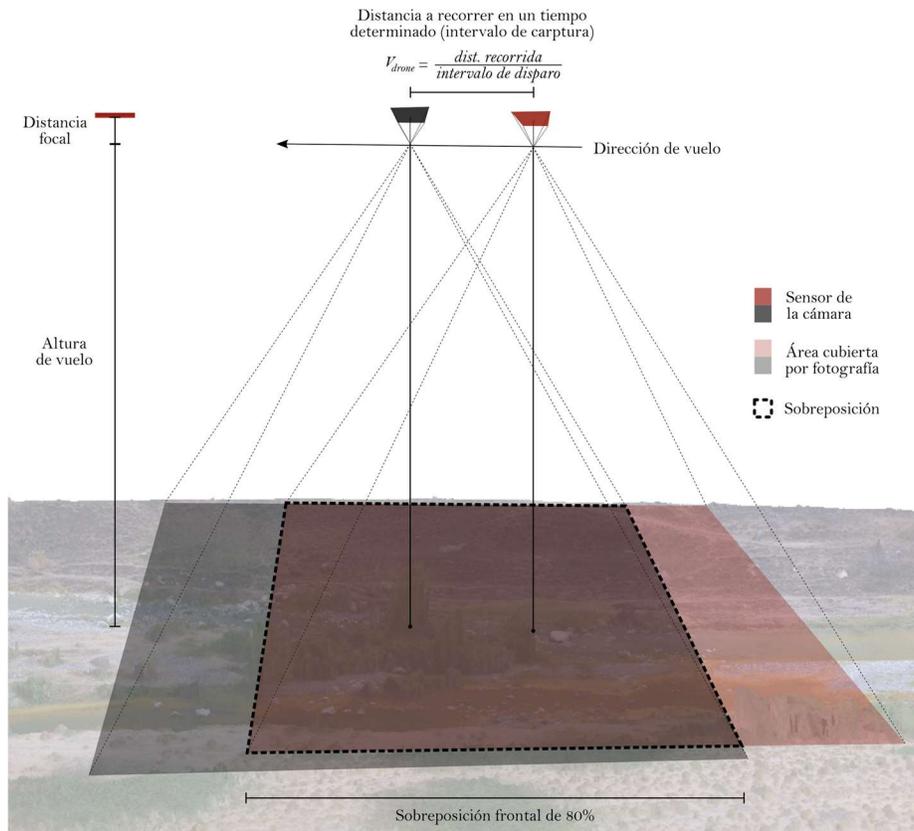


Figura 1. Esquema de un vuelo fotogramétrico sobre una línea de vuelo. Elaboración propia.

Los cuatro grandes parámetros se definen de la siguiente manera:

- Tipo de sensor

Para hablar del sensor es necesario saber con precisión la distancia focal que es la distancia entre el centro óptico de la cámara y el punto focal. Este parámetro está ligado con la resolución de las fotografías, ya que la resolución es el número de píxeles totales en una imagen e indica la cantidad de detalle que puede adquirir una escena con la cantidad de píxeles.

El tamaño de píxel (P_s) es el resultado de dividir el formato del sensor entre el número de píxeles correspondiente (horizontal o vertical, al mantener la misma relación es distinto). El calculado es de la siguiente manera (Ec. 1):

$$P_s = \frac{\text{Distancia Real de la Cámara}}{\text{Número de Píxeles}} = \frac{dx}{R_x} = \frac{dy}{R_y} \quad (1)$$

Sin embargo, hay que mencionar que este grupo de parámetros tiene una estrecha relación con la altura y el GSD, ya que la distancia focal en conjunto con la altura de vuelo del dron, forman una línea recta que funciona como un factor de escala, en donde entre menor sea la altura de vuelo, el sensor representará menor área, pero a gran escala. En contraste con alturas mayores que generan fotografías con reducción de escala, bajo el entendido que se trabaja con la misma distancia focal.

- Sobreposición

La sobreposición o traslape es la porción de una fotografía que incluye el área cubierta por otra para construir una imagen continua y se expresa en porcentaje del área de la fotografía sobrepuesta. Esta sobreposición se puede dar de manera lateral, es decir, entre líneas de vuelo y frontal, refiriéndose al traslape entre fotografías de una misma línea. Para el primer caso se recomienda un porcentaje de entre 60% y 80%, en tanto que para el segundo del 80%, ya que, de esta manera, es posible compensar la inestabilidad del dron y evitar una reducción de sobreposición (Colima y Molina, 2014).

Dentro de la sobreposición es importante tomar en cuenta los parámetros de velocidad de vuelo, el intervalo de captura entre cada fotografía y la sobreposición lateral y frontal.

Como ya se mencionó, una de las variables que se tiene que tomar en cuenta es la velocidad de vuelo, la precisión va a ser mayor mientras el dron vaya a una menor velocidad y por lo tanto el tiempo de vuelo va a aumentar.

A la distancia o intervalo entre dos tomas sucesivas de fotografías se le llama Base y se calcula de la siguiente forma (Ec. 2):

$$B = \frac{1 - \text{Sobreposición}\%}{100} * \text{Distancia Real de la Cámara}(mm) * \frac{\text{Distancia al Objeto}(m)}{\text{Distancia Focal}(mm)} \quad (2)$$

Evidentemente, dicha sobreposición deberá ir acorde a la variación de la altura de vuelo, ya que, si se aumenta, el porcentaje disminuye.

- Altitud y Ground Sample Distance (GSD)

El GSD define el tamaño del píxel en el terreno, es decir, determina la resolución de la fotografía y está expresado en cm/px. Hay que mencionar que este parámetro es teórico debido a la variación de la superficie en cuestión. Se calcula de la siguiente manera (Ec. 3):

$$GSD = P_s * \frac{\textit{Altura de vuelo}}{\textit{Distancia focal}} \quad (3)$$

Donde P_s es el tamaño del píxel.

Como se observa en la primera ecuación los parámetros que influyen en los valores de GSD son la altura de vuelo y la distancia focal de la cámara, fungiendo como factor de escala, junto con el tamaño de píxel.

Sin embargo, uno de los parámetros que más afecta en el GSD es la altitud o la altura de vuelo, es decir, entre mayor sea la altura de vuelo el píxel va a cubrir una mayor área provocando una menor resolución y mayor es el valor del GSD. Por otro lado, si se pretende una mejor resolución (valores bajos de GSD) la altura de vuelo tendrá que ser menor y el área a cubrir será menor.

En este sentido es importante definir la escala a la que se va a trabajar, el área de estudio, las baterías del dron (en caso de requerir más de una misión fotogramétrica) y la capacidad de almacenamiento de la tarjeta de memoria del dron.

- Iluminación

Para poder tomar fotografías de manera óptima es crucial contar con una buena iluminación para evitar sombras o cambios de coloración en el terreno.

Debido a esto es necesario tener control de la configuración de la cámara a utilizar, así como también tomar en cuenta la iluminación natural del sitio. Se recomienda evitar realizar misiones fotogramétricas en condiciones con lluvia, niebla o nieve, así como también, dejar los parámetros de la cámara en modo automático.

De lo anterior, se desprende la figura 2 sobre un comparativo a modo de pirámide invertida (a menor altura, mayor resolución) en donde se relacionan las características

básicas de las fotografías al variar la altura en un mismo punto, apuntando la cámara a -90° con respecto a la horizontal, es decir, en posición nadir. Cabe mencionar, que la cámara fotográfica que se utilizó es la predeterminada del dron Mavic Air, y los valores que se presentan son teóricos, ya que interviene la irregularidad topográfica presente en cada escena, no obstante, es posible obtenerlos a través de una hoja de parámetros fotogramétricos.

<p>ALTURA: 1 m GSD: 0.4 mm Dx: 1.54 m Dy: 1.14 m</p> 	<p>ALTURA: 20 m GSD: 7.6 mm Dx: 30.85 m Dy: 22.75 m</p> 	<p>ALTURA: 40 m GSD: 15.2 mm Dx: 61.70 m Dy: 45.50 m</p> 
<p>ALTURA: 60 m GSD: 22.8 mm Dx: 92.55 m Dy: 68.25 m</p> 	<p>ALTURA: 80 m GSD: 30.4 mm Dx: 123.40 m Dy: 91.00 m</p> 	<p>ALTURA: 100 m GSD: 38.0 mm Dx: 154.25 m Dy: 113.75 m</p> 

*Figura 2. Comparativo de parámetros a través de la variación de la altura de vuelo.
 Elaboración propia.*

3. Aplicaciones en las geociencias

El uso de drones para la adquisición de fotografías dentro de las geociencias ha aumentado debido a su bajo costo, su facilidad de uso y su calidad. Debido al avance tecnológico dentro la fotogrametría digital, un dron puede contar con herramientas como sensores y/o cámaras de alta calidad que permiten la adquisición de fotografías

de una mejor resolución captando diferentes texturas y características particulares del terreno.

Se ha utilizado esta herramienta para el mapeo de características geomorfológicas, patrones estructurales, análisis de movimientos de masas, estudio de formas deposicionales, caracterización de macizos rocosos, entre otras aplicaciones.

Niethammer et. al (2012), demostró que los drones pueden proporcionar datos de teledetección de alta resolución sobre deslizamientos de tierra generando ortofotos y MDT (Modelo Digital del Terreno) para el análisis de fisuras y desplazamientos superficiales. James et al. (2012), también destaca el uso de drones para hacer medidas topográficas, estudios detallados de procesos como erosión utilizando mapas de erosión generados a partir de fotografías adquiridas por este medio.

Por otro lado, Vollgger & Cruden (2016), utilizando fotografías aéreas de alta resolución adquiridas con un dron obtuvo datos georeferenciados (nube de puntos, modelo digital de elevación y ortofotos) para extraer y cuantificar variaciones espaciales en las geometrías y orientaciones de pliegues y fracturas en afloramientos de Australia. Mientras que Garrett & Anderson (2018), define a los drones como una herramienta útil e importante para la detección proximal en geografía física y destaca su importancia dentro de la geomorfología para cuantificar la distribución de tamaño de grano en morrenas glaciares.

En la actualidad, los estudiosos de las Ciencias de la Tierra han ido implementando el uso de drones para la adquirir fotografías de alta calidad de manera sencilla basándose en la fotogrametría tradicional.

4. Síntesis y conclusiones

La adquisición de fotografías utilizando drones es una parte fundamental para la fotogrametría digital y se requiere establecer algunos parámetros antes de realizar un vuelo fotogramétrico. Los parámetros necesarios se van a dividir en cuatro grandes grupos que a su vez van a depender de otros parámetros y son los siguientes:

- Tipo de sensor. Hay que conocer las características del sensor como la distancia focal y el tamaño del sensor. También va a ser necesario definir la resolución con la que se van a adquirir las fotografías.

- Sobreposición o traslape. Como se sabe, la sobreposición es la porción de una fotografía que incluye el área cubierta para construir una imagen continua. Dentro de este parámetro es necesario definir la velocidad de vuelo, el intervalo de captura entre cada fotografía y la sobreposición lateral y frontal.
- Altura y GSD. El GSD define el tamaño del píxel en el terreno y está en función de la altura de vuelo y la escala del producto.
- Iluminación. Definir los valores de ISO, WB (Balance de blancos) y velocidad de disparo en función del lugar de estudio tomando en cuenta el clima y su iluminación natural.

Una vez que el estudiante defina estos valores puede realizar un plan de vuelo para adquirir fotografías utilizando un dron de manera automatizada utilizando apps como *Pix4DCapture*, *Litchi*, *DroneDeploy*, *DJI Ground Station Pro*, etc.

A partir de la búsqueda bibliográfica realizada en esta unidad, se observó que la fotografía aérea representa un elemento relevante para la interpretación de superficies captadas en la escena.

Así mismo, el UAS significa una herramienta que aporta la adquisición de datos no solo espaciales, sino también en aplicaciones de series de tiempo, al emplear vuelos fotogramétricos de manera sistemática en un periodo establecido.

5. Referencias citadas

Caire, J. (1977). *Fotogrametría-I* (Primera Ed). Editorial Rodriguez.

Chandler, J. (1999). Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms*. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199901\)24:1<51::AID-ESP948>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199901)24:1<51::AID-ESP948>3.0.CO;2-H)

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. En *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

Fawcett, D., Blanco-Sacristán, J., & Benaud, P. (2019). Two decades of digital photogrammetry: Revisiting Chandler's 1999 paper on "Effective application of

automated digital photogrammetry for geomorphological research” – a synthesis. *Progress in Physical Geography*. <https://doi.org/10.1177/0309133319832863>

Garrett, B., & Anderson, K. (2018). Drone methodologies: Taking flight in human and physical geography. *Trans Inst Br Geogr*, 43:341-359. <https://doi.org/10.1111/tran.12232>

Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., & White, J. C. (2019). Digital Aerial Photogrammetry for Updating Area-Based Forest Inventories: A Review of Opportunities, Challenges, and Future Directions. En *Current Forestry Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00087-2>

James, M., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, F03017,, 17. <https://doi.org/10.1029/2011JF002289>

Neithammer, U., James, M., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology* 128, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>

Vollgger, S., & Cruden, A. (2016). Mapping folds and fractures in basement and cover rocks using UAV photogrammetry, Cape Liptrap and Cape Paterson, Victoria, Australia. *Journal of Structural Geology* 85, 168-187. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2016.02.012>