

GENERACION DE CARTOGRAFIA BASICA A DETALLE MEDIANTE UNA METODOLOGIA DE TOMA CON AVIONES NO TRIPULADOS (UAV's).

Angulo Valencia Lady Victoria.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE
lvangulo@espe.edu.ec

RESUMEN

La aparición de la fotogrametría digital trajo la necesidad de automatizar los procesos fotogramétricos, que junto con la evolución en la robótica, y la informática permitió la aparición de los Aviones no Tripulados (UAV), los mismos que superan limitaciones en niveles económicos y de resolución. El presente proyecto indica la obtención de cartografía mediante el uso del sistema no tripulado UX5, el mismo que cuenta con un sistema de posicionamiento GPS L1, y un sistema inercial IMU con filtro Kalman, que facilita la interacción IMU/GPS, permitiendo la obtención automática de los parámetros de orientación interna para el procesamiento de datos mediante el módulo de fotogrametría de Trimble Business Center. Para la ejecución del proceso fotogramétrico se fijaron las especificaciones técnicas mediante la planificación del proyecto, utilizando como datos principales los obtenidos en la toma aérea, permitiendo calcular un tamaño promedio de 5.2 ha., de cobertura, para cada escena capturada en una altura de vuelo de 180 m y escala de 1:12000., lo que determinó que se podía llegar a una escala de plano 1:1000 con un factor de ampliación de 12x, siendo el máximo calculado en el proyecto, de 20x.

PALABRAS CLAVE: Trimble UX5, IMU/GPS, escala 1:1000, cartografía.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos fotogramétricos han evolucionado continuamente a lo largo de los años, pasando de las soluciones óptico mecánicas de tipo analógico a las analíticas, que marcaron la entrada de la informática en la fotogrametría con la combinación de hardware y software, pero la verdadera revolución aparece con la imagen digital obtenida desde la toma de fotografía aérea, que permitió evitar el proceso de escaneo de las imágenes analógicas (Pérez, 2005).

En la actualidad, la fotogrametría, es una tecnología y metodología mucho más accesible, e incorpora instrumental de bajo costo, como: cámaras digitales compactas (de disparo) o réflex (sin error de paralaje) y sistemas de vuelo de carácter ultra ligero UAV's, siendo cada vez más habitual la aparición de estos equipos.

Etimológicamente la palabra Fotogrametría viene del griego: *photon* (luz), *graphos* (descripción) y

metron (mediciones), es decir, mediciones ejecutadas a través de fotografías; un conceso general define al término de forma general, como la ciencia o tecnología de obtener información confiable, por medio de imágenes adquiridas por sensores (Coelho & Núñez Brito, 2007).

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, que ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, usada por las lentes (Jauregui, 2010). En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

- No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara.
- La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana.
- La relación matemática entre el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE AVIONES NO TRIPULADOS CON FINES FOTOGRAMÉTRICOS.

En éste estudio se propuso el uso de un vehículo no tripulado para la adquisición de imágenes aéreas “Trimble UX5”, como generador de la información cartográfica de la zona ubicada en la parte urbana de la parroquia de Montalvo, provincia de Los Ríos.

2.1. Trimble UX5 Aerial Imaging solution.

El sistema de adquisición de imágenes aéreas UX5, (Figura 3.1.), es una aeronave no tripulada de ala fija, que consta de tecnologías que permiten a topógrafos y especialistas de la geo información, obtener grandes cantidades de datos en muy poco tiempo, en diversas aplicaciones.



Figura 2.1. Sistema Trimble UX5.
Fuente: Trimble UX5, 2013.

El UX5 sigue una trayectoria pre programada donde el despegue, el vuelo y el aterrizaje requieren de una intervención manual mínima. La solución para la adquisición de imágenes incluye: el sistema UX5, una cámara que toma imágenes aéreas durante el vuelo, un lanzador, una estación de control a tierra, y un rastreador (opcional) (Ver Figura 2.2).

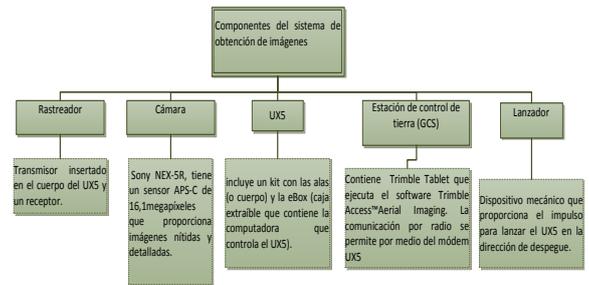


Figura 2.2. Componentes del sistema de obtención de imágenes UX5.
Fuente: Trimble UX5, 2013; modificado por Angulo, 2014.

2.2. Componentes del kit fotogramétrico.

En general, el sistema está compuesto por: el Trimble UX5 Aerial Imaging Rover (Vehículo de Fotogrametría Aérea) para la adquisición de imágenes aéreas; Trimble Access™ Aerial Imaging para: planificación de la misión, ejecución de los controles previos y supervisión del vuelo; y por último por el Trimble Business Center Photogrammetry module para el procesamiento de imágenes aéreas y la creación de los productos finales (Cosyn & Miller, 2013).

Los componentes del kit fotogramétrico, que incluyen la maleta de carga se especifican a continuación, Figura 2.3.



Figura 2.3. Kit del equipo fotogramétrico UX5.
Fuente: Trimble UX5 (p.11), 2013; modificado por Angulo, 2014.

2.3. Condiciones climáticas y atmosféricas de operación.

Si bien el UX5 es adecuado para condiciones climáticas extremas, el problema principal además de la seguridad, es la calidad de las imágenes adquiridas durante el vuelo. Los valores máximos para diferentes condiciones climáticas se muestran en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1.

Valores de operación, para diferentes condiciones climáticas y atmosféricas.

Viento	50 km/h
Precipitación	Lluvia Ligera ¹
Condición	Rango aceptable
Viento en contra	Máximo de 65 km/h.
Viento de costado/lateral	Máximo de 65 km/h
Ráfagas de viento	Máximo de 15 km/h
Temperatura	Entre -25°C y +48°C
Distancia respecto a las nubes	Sin nubes y siempre dentro de la línea de visión.
Visibilidad de vuelo	5000 m

Fuente: Trimble UX5, 2013.

3. PROCESO FOTOGRAMÉTRICO.

3.1.1. Aspecto aéreo.

El aspecto aéreo está descrito prácticamente en su totalidad por la ejecución del vuelo fotogramétrico, el cual no se podría haber realizado sin antes tener la misión de vuelo planificada. Utilizando el software “Trimble Access Aerial Imaging”, mismo puede descargarse tanto para uso en computadora y a la vez en la “Trimble Tablet”, cumpliendo la función de un GCS (Ground Control Station); facilitando la importación de la misión creada en oficina. En la Figura 5.11., se indica el flujo de los procesos que se llevan antes, durante y después del vuelo.



Figura 3.1. Flujo de los procesos ejecutados en el aspecto aéreo. Fuente: Angulo, 2014.

Las fórmulas fotogramétricas que se usaron se identifican en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1:

Fórmulas fotogramétricas para el cálculo de los parámetros de vuelo.

Fórmula	Descripción	Cálculo
$GSD = \frac{Altura * CMOS}{D. Focal}$	Permite obtener el valor del mínimo tamaño de píxel en la foto.	$GSD = \frac{180 m * 4.8 \times 10^{-6} m}{15 \times 10^{-3} m} = 0.057 m$
Tamaño transversal = Formato De Ancho * GSD	Se obtiene el tamaño que va a cubrir transversalmente la fotografía en el terreno.	$tamaño\ transversal = \frac{4912 \times 5.7 cm}{100000} = 0.279 km$
Tamaño longitudinal = Formato De Ancho * GSD	Se obtiene el tamaño que va a cubrir lateralmente la fotografía en el terreno.	$tamaño\ longitudinal = \frac{3264 \times 5.7 cm}{100000} = 0.186 km$
Separación = tamaño longitudinal * (1 - traslapeo longitudinal)	Separación entre foto y foto	$separación = 0.186 * (1 - 80) = 0.0372 km$
Separación = tamaño transversal * (1 - traslapeo transversal)	Separación de líneas de vuelo.	$separación = 0.279 * (1 - 80) = 0.0558 km$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Control de calidad de los productos fotogramétricos.

Los procesos ejecutados para el control de calidad de los productos fotogramétricos obtenidos para la zona urbana de Montalvo, se propone una metodología de evaluación diferente a la utilizada normalmente, y se busca encontrar resultados satisfactorios en cuanto a la evaluación estadística.

La Figura 4.1., resume las etapas ejecutadas en este capítulo.

NOTAS:

¹ La lluvia ligera es aceptable, se debe evitar el granizo, la nieve y lluvias intensas.

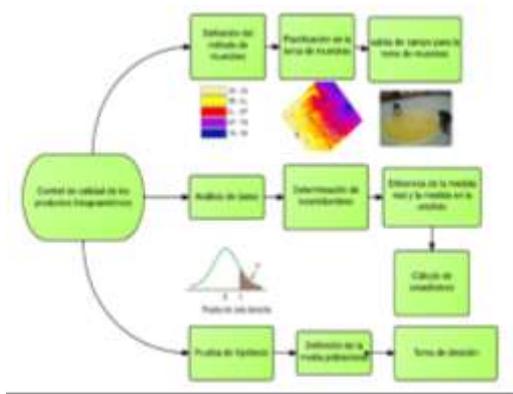


Figura 4.2. Etapas ejecutadas para el control de calidad de la Ortofoto.

4.2. Determinación del método de muestreo.

Con el fin de obtener las medidas de campo necesarias para verificar la calidad de la ortofoto ajustada con puntos de control, se realizó un muestreo aleatorio estratificado, este método fue seleccionado debido al tamaño de la zona de estudio, así como a la existencia de diversas variables auxiliares que facilitaron la división de estratos en la zona.

El método aleatorio estratificado es ampliamente utilizado en la verificación de datos que se encuentran en zonas dispersas, ya que permite abarcar grandes espacios de terreno considerando una o distintas variables auxiliares en el espacio de estudio.

La Figura 4.2., muestra la distribución del muestreo aleatorio sobre el modelo de interpolación de alturas generado, y la diferenciación de los 5 estratos de muestreo.

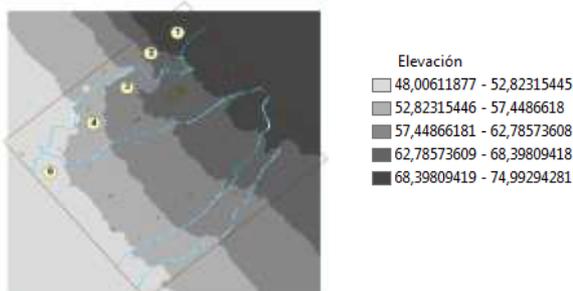


Figura 4.3. Distribución del muestreo aleatorio en los 5 estratos definidos por el IDW.

4.3. Prueba de hipótesis.

La prueba de hipótesis busca evaluar los datos medidos en campo en relación a los datos medidos en la ortofoto, en una escala real. Se plantean dos metodologías para la realización de la prueba de hipótesis y la toma de decisión, tomando como valor de referencia para la hipótesis nula y alternativa una aproximación de la media poblacional, de 6 cm, el mismo que representa el tamaño del píxel en la ortofoto.

Para formular la regla de decisión se toma la Tabla del apéndice B2 (Lind, Marchal, & Wathen, 2008), para determinar el valor crítico del área de rechazo y aceptación de la hipótesis Nula. Para los 25 datos muestreados, se tiene 24 gl (grados libertad=n-1) (Ver Figura 4.3).

		Intervalo de confianza, α					
		80%	90%	95%	98%	99.5%	
		Nivel de significancia para una prueba de una cola, α					
gl		0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	
		Nivel de significancia para una prueba de dos colas, α					
		0.200	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
21		1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.818
22		1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23		1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24		1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25		1.318	1.708	2.060	2.485	2.787	3.723
26		1.318	1.706	2.059	2.479	2.779	3.707
27		1.314	1.705	2.052	2.473	2.771	3.693
28		1.313	1.703	2.049	2.467	2.763	3.674

Figura 4.3. Valor crítico para un nivel de significancia de 0.05.

Fuente: Lind, Marchal, & Wathen, 2008.

En relación a los datos reportados en los informes de ajuste de puntos de control, se observó una reducción significativa entre el primer informe generado con 135 observaciones y el tercer informe con 60 observaciones, dándonos como una media general para los residuales del tercer informe de 0,018285714 m en Este, 0,022850549 m en Norte y 0,007094505 m en Elevación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

-Los objetivos y metas planteados inicialmente en el proyecto fueron cumplidos con éxito, permitiendo obtener un plano base a escala 1:1000., de la zona de estudio definida para el

Cantón Montalvo aplicando una metodología de toma con Aviones no tripulados (UAV's).

-Mediante el análisis comparativo de las características constructivas que presentan los equipos utilizados en la presente investigación, se determinó que para fines de fotografía aérea con propósitos cartográficos, el vehículo no tripulado "Trimble UX5" presenta ventajas significativas en relación al "Spreading wings s800", entre las que se destacan: autonomía, software especializado para el procesamiento de datos, sistema de control terrestre y procedimientos de seguridad automáticos.

-La principal desventaja que presenta la solución de adquisición de imágenes aéreas "Trimble UX5" es la necesidad de contar con amplias zonas de despegue y aterrizaje, lo que dificulta la utilización en áreas montañosas.

-Se desarrolló un pliego de especificaciones técnicas para generación de cartografía, mediante el uso de aviones no tripulados; tomando los parámetros calculados en la definición del proyecto fotogramétrico, utilizando los datos de: altura de vuelo de 180m, tamaño de píxel de 5.7 cm, traslapes longitudinales y transversales de 80%, área de recubrimiento de 1.21 km².

-La planificación del proyecto fotogramétrico nos permitió determinar que para las características de la cámara Sony Nex 5R, la misma que posee una distancia focal de 15.5172 mm y un tamaño de píxel de 4.8µm, en una escala de fotografía 1:12000 se puede llegar a la escala de plano 1:1000 con factor de ampliación de 12x, siendo el máximo permisible de 20x.

-Las precisiones planimétricas y altimétricas determinadas en el proyecto fotogramétrico fueron de ± 1.628 cm y ± 9.65 cm, respectivamente, las mismas que se utilizaron en el desarrollo del pliego de especificaciones técnicas del proyecto.

-El proceso fotogramétrico digital se realizó mediante el ajuste automático de las estaciones de vuelo, y el ajuste con puntos de control, los mismos que representa a la orientación relativa y absoluta del modelo estereoscópico, estas correcciones se ejecutaron en un promedio de 7 horas con un nivel de uso de la estación de trabajo, superior al 80%.

-El ajuste del bloque fotogramétrico desplegó como productos del levantamiento aéreo, una ortofoto corregida mediante puntos de control terrestre, la misma que presentó una media de residuales de 0,018 m en este; 0,023 m en norte y 0,0071 m en elevación.

-Los resultados de la evaluación geométrica a la Ortofoto ajustada con puntos de control muestran que a un nivel de confianza de 95%, los datos se encuentran por debajo del umbral del error permisible, definido como 0.06 m, el mismo que representa la resolución espacial de la ortofoto.

-Los planos a escala 1:1000 para la zona de estudio en el Cantón Montalvo, fueron desarrollados siguiendo las normas para el dibujo establecidas por Gutierrez & Sampayo (1981), y el esquema de planos generados por el IGM, con debidas modificaciones en el diseño, las mismas que permitieron imprimir originalidad al producto.

5.2. Recomendaciones.

-Es necesario identificar los objetivos y finalidades del producto cartográfico previo a la definición de las especificaciones técnicas del proceso fotogramétrico, de esta forma se podrá analizar el equipo que mejor se adapte a los requerimientos y necesidades del usuario.

-La distribución de los puntos de apoyo debe realizarse considerando una buena geometría en el plano, dando prioridad a las zonas de elevación pronunciada.

-El programa TBC especifica un mínimo de 5 GCP para el ajuste por vuelo, sin embargo, para poder realizar un control de calidad en posición y altura a los productos generados (Ortofoto, MDS y Nube de puntos) en el procesamiento es necesario tomar más puntos de control posicional, dependiendo del nivel de confianza que se requiera.

-Es necesario que los productos del proceso fotogramétrico sean visualizados y editados en sistemas de información geográfica, que permitan la generación de MDT, curvas de nivel y extracción de elementos del terreno, éstos programas en los que se pueden realizar este tipo de procesamientos son: ArcGIS, Envi LIDAR, ERDAS, entre otros.

-Uno de los aspectos importantes a considerar en la realización de un vuelo con Aviones no tripulados, es que se debe contar con un Check list de prevuelo, ya sea automático como el del UX5 o generado mediante prácticas de vuelo como el Spreading wings S800.

5. LITERATURA CITADA

Ackermann, F. (1991). *Structural Changes in Photogrammetry*. Proc. of the 43rd Photogrammetric Week at Stuttgart University. Recuperado de ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Fotogrametria/Unidad2/1._Historia_fotogrametria.pdf.

Acre. (n.d.). Vehículos aéreos no tripulados: productos, servicios y aplicaciones. (pp. 1–31). Recuperado de <http://www.unvex14.com/docs/vehiculos-aereos-no-tripulados.pdf>

Astudillo riquelme, r. (2009). Obtención y validación de un ortofotomosaico controlado mediante la aplicación del programa fotogramétrico erdas lps 9.1 para el proyecto vial

putaendo - san felipe. Universidad de santiago de chile.

Barrientos, a., del cerro, j., gutiérrez, p., san martín, r., martínez, a., & rossi, c. (2009). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones (pp. 1–29). Madrid. Recuperado de <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/abarrientos-cedi2007.pdf><http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/a-barrientos-cedi2007.pdf>

Caballero, f., & millán, j. (2011). Pliego de prescripciones técnicas particulares: suministro de ortofotografías que sirvan de base para la actualización de las bases cartográficas municipales a partir de vuelo fotogramétrico digital (p. 19). Zaragoza. Recuperado de <https://www.zaragoza.es/contenidos/contratos/orto-fotografia/tecnicas.pdf>

Camargo santana, j. (2011). Estudio y diseño de metodología con técnicas gps para la actualización de la cartografía catastral del municipio palavecino (venezuela). Universidad politécnica de valencia.

Catálogo de productos trimble 2014. (2014). Barcelona- españa. Recuperado de http://www.al-top.com/sites/default/files/0-topografia_public.pdf

Cleghorn, d. (2013). Review: dji s800 spreading wings hexacopter - model airplane news. Model airplane news. Recuperado el 24 de junio, 2014, de <http://www.modelairplanenews.com/blog/2013/07/24/review-dji-s800-spreading-wings-hexacopter/>

Cosyn, p., & miller, r. (2013). Trimble ux5 aerial imaging solution: un nuevo estándar en precisión, robustez y rendimiento para cartografía por fotogrametría aérea (pp. 1–6). Colorado-westminster (usa).

Cox, t., nagy, c., skoog, m., & somers, i. (2004). Civil uav, capability assessment. Houston, texas, ee.uu. Recuperado de http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/111761main_uav_capabilities_assessment.pdf

Decamaras.com. (2011). ¿es mejor una reflex con sensor ccd o cmos? Recuperado el 20 de mayo, 2014, de: <http://www.decamaras.com/cms/content/view/347/40-es-mejor-una-reflex-con-sensor-ccd-o-cmos>

Delgado garcía, j. (2009). Fotogrametría digital: introducción. Recuperado el 13 de Diciembre, 2013, de http://coello.ujaen.es/asignaturas/fotodigital/download/fd_presentacion.pdf

Empleo de vehiculos aereos no tripulados (uav). (n.d.) (pp. 1–15). España. Recuperado de <http://agdeagreda.wikispaces.com/file/view/concepto+derivado+01-07+uav.pdf>

Especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica a cualquier escala (primer borrador). (2006) (pp. 1–29). Quito-ecuador. Recuperado de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Espín puchaicela, m. A., & guano rojas, f. A. (2013). Diseño de un ambiente virtual mediante el empleo de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance, del conjunto arquitectónico de la ciudad de conocoto. Universidad de las fuerzas armadas- espe.

Estado del arte de fotogrametría digital. (2012) (pp. 1–100). Bogotá - colombia.

Fernández de córdoba, r. M. (2010). Producción de productos cartográficos: mdt y ortofoto a partir de imágenes capturadas por un vehículo uav. Recuperado de: http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/119810/1/tfm_morafernandezdecordobar_generacion.pdf

Fiallos niza, g. Del r., & luna ramos, w. L. (2011). Estudio de los recursos productivos del cantón montalvo, provincia de los ríos y propuesta de un proyecto empresarial que potencie dichos recursos. Universidad politécnica salesiana. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2133/13/ups-gt000179.pdf>

García, l. A. (2012). Servicio técnico para la obtención del vuelo fotogramétrico para la producción de ortofotos incluidas en el plan nacional de ortofotografía aérea en el ámbito de extremadura sur (pp. 1–13). Madrid- españa. Recuperado de <http://www.fomento.gob.es/nr/rdonlyres/d83b6d59-d077-42d8-87bf-d83cdb2f2e29/114932/ppt.pdf>

Gobierno autónomo descentralizado del cantón montalvo. (2014). Recuperado el 31 de julio, 2014, de: <http://www.montalvo.gob.ec/index.php/ciudad/territorio-y-poblacion>

Gonzáles aguilera, d. (n.d.). Introducción al análisis de imagen (pp. 1–12). Salamanca- españa. Recuperado de: <http://212.128.130.23/educcommons/enseanzas-tecnicas/procesamiento-avanzado-de-imagenes-digitales/contenidos/tema1.pdf>

Guía del usuario de la solución trimble ux5. (2013) (pp. 1–103). California (usa).