

Evaluación de Método de Corrección Geométrica de Fotografía Aérea escala 1:1.000 capturada por vehículos aéreos no tripulados estableciendo una red Geodésica de cuarto orden

Rivera Yela Juan Pablo¹

¹ Departamento de Postgrados/
Universidad del Azuay - DRONEXT
Cia. Ltda.
Calle del Varayo L-95 y De Los Cere-
zos - Cuenca/Azuay/Ecuador
juanpablorivera@hotmail.com

RESUMEN

La presente investigación evalúa la calidad y precisión del levantamiento de fotografía aérea con nuevas herramientas tecnológicas. Para ello se realizó el levantamiento de fotografía a escala 1:1.000 de un área de 30 hectáreas por medio de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV por sus siglas en inglés), más conocido como Drone; esto en la ciudad de Paute, provincia de Azuay (sierra sur del Ecuador). Para ello se estableció una red geodésica de cuarto orden o GCP (Ground Control Point) para corregir los errores de posicionamiento del drone, con programas especializados. Con esta información se procesaron los datos del levantamiento de fotografía aérea y se compararon con las especificaciones técnicas generales para realización de cartografía topográfica a cualquier escala, y con las Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales, para dadas por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM). Se pudo comprobar que el ortofotomosaico realizado con el drone cumple con las especificaciones técnicas mencionadas tanto en su precisión horizontal como vertical.

Palabras clave: **UAV (Unmanned Aerial Vehicle), drone, IGM (Instituto Geográfico Militar), REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador), GCP (Ground Control Point)**

ABSTRACT

This research carried out in the city of Paute, Azuay province (southern Ecuador, mountain region), evaluates the quality and precision of aerial photography with new technological tools. In order to achieve this, a picture at a 1: 1.000 scale of a 30 hectare area was taken through an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) better known as Drone, which required establishing a fourth order geodetic network or GCP (Ground Control Point) to correct drone positioning errors through specialized programs. With this information, the data of aerial photography survey were processed and compared with the technical specifications for implementing topographic maps of any scale, as well as with the Technical Specifications for Digital Orthophotography provided by the Military Geographic Institute of Ecuador (IGM, as per its Spanish acronym). It was found that the orthophotomosaic made with the drone meets the technical specifications both in horizontal and vertical accuracy.

Keywords: **UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Drone, IGM (Military Geographic Institute), REGME (GNSS Continuous Monitoring Network of Ecuador), GCP (Ground Control Point)**

I. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados UAV's (Unmanned Aerial Vehicle) por sus siglas en inglés, se los define como un vehículo aéreo motorizado, que no lleva a bordo tripulante humano, y que por su propulsión se mantiene en sustentación. (Velasco, et al, 2012; Cuerno, 2015)

Con el desarrollo y advenimiento de la tecnología (a partir de la última década), tanto de posicionamiento (DGPS, GLO-NASS), como el desarrollo de la fotografía digital, y sensores aeroportables (cada vez de menor peso y dimensiones), el desarrollo de los UAV's de diversos usos civiles y comerciales se ha masificado.

Ha existido mucho debate a nivel local y nacional sobre la exactitud y precisiones de los productos obtenidos en los levantamientos con UAV's; es por esto que el presente estudio pretende evaluar el Método de Corrección Geométrica (Georeferencial) de Fotografía Aérea capturada por un UAV, estableciendo una red Geodésica de cuarto orden en 30 hectáreas (aprox.) de la ciudad de Paute, cantón Paute de la provincia del Azuay; siguiendo las especificaciones técnicas generales para realización de cartografía topográfica a cualquier escala dadas por el IGM (2006).

La presente investigación permite conocer si las precisiones y exactitud de los datos obtenidos con un UAV son los requeridos por el Instituto Geográfico Militar para este tipo de estudios.

Los levantamientos de fotografía aérea a detalle, utilizando la metodología tradicional de tomas con aviones tripulados, presentan varios limitantes, entre estos los elevados costos de toma de fotografía aérea tradicional, condiciones óptimas climáticas para vuelos tripulados, tramitología de permisos para vuelos, entre otros; en tanto que el levantamiento de fotografía aérea con drones representa costos menores, las condiciones de clima no son tan estrictas debido a las alturas de vuelo, los permisos de vuelo son menos complicados de obtener, mantienen mayores precisiones, ahorran tiempo en los levantamientos, entre otras (Coello y Ballesteros, 2014).

Por tanto se plantea que el levantamiento de fotografía aérea con UAV / Drone de 30 hectáreas (aproximadamente) a escala 1:1.000 de la ciudad de Paute cumple los estándares de calidad y precisión que requiere el IGM en sus "Especificaciones Técnicas Generales para la realización de Cartografía Topográfica a cualquier Escala (Primer Borrador)" y además con las "Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales (Primer Borrador); estableciendo una red geodésica de cuarto orden.

II. MÉTODO

El sitio de estudio, se ubica al noroeste de la provincia del Azuay (sierra sur del Ecuador), en el cantón Paute, parroquia del mismo nombre, con mayor especificidad en la zona sur de la ciudad de Paute. La superficie levantada fue de 30 hectáreas (ha) de las aproximadamente 400 ha que presenta la ciudad. (INEC, 2011) (Anexo 1)

2.1. ARMADO DE LA RED GEODÉSICA DE 4TO ORDEN O PUNTOS DE CONTROL DE SUELO (GCP)

Como primer paso se identificó la zona de la ciudad de Paute, que contenga una superficie aproximada de 30 ha (el tamaño elegido se basa en que con esta superficie se puede obtener una muestra representativa de la ciudad, a mas que es un tamaño manejable por el volumen de información) para realizar las mediciones, además, que conste de zonas urbanas consolidadas, por consolidar, infraestructura vial, y lotes baldíos (Fi-

gura 1). Como segundo paso fue la adquisición de la memoria técnica de la estación Cuenca (CUEC) de la REGME, que, por su cercanía (28,7 km) al sitio de estudio fue la más indicada para usar los datos para el post-procesamiento.

Luego, se realizaron las mediciones para la Red Geodésica de 4to Orden o Punto de Control de Suelo (GCP por sus siglas en inglés), ésta constó de 6 puntos. Con el uso de dos DGPS (Spectra Promark 120); mismos que estaban programados como móviles para que tomen los datos en modo Cinemático - Stop and Go, y almacenen sus datos para post-procesamiento, con un tiempo no menor a 30 minutos de lectura por cada punto (antena nivelada horizontal y verticalmente a 1,5 m). (Pachas, 2009).



Figura 1. Medición de Puntos de control (GCP)

2.2. POST - PROCESAMIENTO DE DATOS LEVANTADOS PARA LA RED GEODÉSICA DE 4TO ORDEN O GCP

Luego de realizado el levantamiento de red geodésica en campo, se realizaron las correcciones de pos-procesamiento de los datos por medio del programa GNSS Solutions (programa propio del DGPS) y Trimble Business Center V3.4.

Procesamiento con programa GNSS Solutions.

Para el post-proceso de los datos, se debe considerar el día GPS de la estación Cuenca (CUEC), mismo que inicia desde las 19h00 del día 20/02/2016; y culmina a las 17h00 del día 21/02/2016, cubriendo de manera adecuada las horas de levantamiento o medición de la red geodésica de cuarto orden o GCP; misma que fue efectuada entre las 10h30 hasta 13h30 del 21/02/2016. Se debe indicar que al crear un proyecto nuevo en este programa, es necesario calibrar los datos de Datum, y demás parámetros para que sean compatibles con los datos de los GCP y con los datos de la estación CUEC. Luego de este paso, se procede a generar el reporte de procesamiento, en donde se obtienen las coordenadas corregidas y sus residuales.

Procesamiento con Programa Trimble Business Center (v. 3.4)

El procedimiento es similar al programa anterior, se adicionan los puntos, previo a la colocación adecuada del Datum, y el elipsoide de referencia. Con un mecanismo similar al programa anterior, se realiza la corrección con los datos de la estación CUEC; de la misma manera se generan los vectores de corrección y se genera el reporte de corrección de los datos y sus residuales.

Se debe anotar que tanto los DGPS, el Plan de Vuelo, el dron, y los parámetros de calibración de los programas empleados para el post-procesamiento de datos crudos de los DGPS (GNSS Solutions, Trimble Business Center), así como el de post - procesamiento del dron (Pix4DMapper) estaban con las siguientes coordenadas:

- Proyección: UTM
- Datum: WGS84
- Zona de Referencia: 17 Sur

2.3. PLANIFICACIÓN DE VUELO

Un paso previo al vuelo es la planificación del mismo, el cual se lo realiza con el programa eMotion 2 propio del Drone (Ebee Ag) en donde se seleccionan los siguientes parámetros del vuelo:

- Tipo de cámara: WX RGB
- Radio de área de trabajo: 950 m a la redonda para que cubra el área de estudio
- Altura máxima del área de trabajo: como techo para que el Drone no sobrepase la altura programada, 390 m para este vuelo.
- Definición del tamaño del pixel: 10 cm.
- Traslape lateral y longitudinal: del 75% en ambos casos, para densificar puntos y evitar sombras.
- Velocidad promedio del viento: 6 m/s; tomado de las estaciones meteorológicas más cercanas.
- Máximo tiempo de vuelo: 35 min.
- Ubicación del punto de despegue/aterrizaje y punto de Home (Casa): este lugar debe ser despejado por lo menos en 80 metros de largo por 30 metros de ancho, es decir sin obstáculos como edificios, casas, árboles, cables de alta tensión, antenas, entre otros, que puedan causar alguna colisión o accidente.
- Además se incluye un modelo digital de elevaciones el sitio de estudio para que el Drone calcule gradientes de altura para obtener siempre el mismo tamaño de pixel
- Dibujo del polígono de levantamiento: 30 ha
- Se realiza una simulación de vuelo para comprobar que todos los parámetros estén correctamente colocados (Emotion 2 Manual, 2015).

Las horas de vuelo óptimas son de 9H00 hasta 16H00, para evitar sombras por los crepúsculos, a más se debe constatar las condiciones meteorológicas como vientos fuertes y presencia de lluvias, en ese caso el Drone no podrá volar.

Con todas estas especificaciones técnicas, las características resultantes del plan de vuelo fueron:

- Número de Vuelos: 1
- Tiempo estimado del Vuelo: 21:26 minutos
- Distancia total del Vuelo: 13,6 km
- Cobertura total del Suelo: 30 ha
- Número de líneas de Vuelo: 8 transversales y 5 longitudinales
- Espacio entre líneas de vuelo: 104 m
- Distancia entre fotos: 76,7 m
- Cobertura de una sola foto: 416,2 x 306,9 m (127.731,72 m² o 12,77 ha)
- Número de Fotos: 99

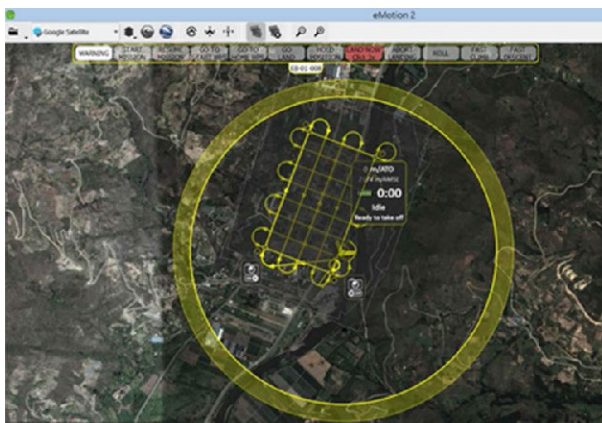


Figura 2. Plan de Vuelo para Sitio de Estudio

2.4. EJECUCIÓN DEL VUELO.

Previo a la ejecución del vuelo, con la red geodésica de 4to orden o GCP establecida; se procedió a la colocación de Land-Marks (Marcas de Tierra o Suelo) en los 6 puntos de control previamente medidos. Estas marcas de tierra son 10 veces mayores al tamaño del pixel del levantamiento, para este caso el tamaño de pixel no será superior a los 10 cm, por tanto el tamaño de las marcas de tierra fueron de 1 m². (Anexo 2)



Figura 3. Marcas de Tierra o Suelo (Land Mark)

Una vez colocadas las marcas de suelo en los GCPs medidos se procedió a armar el drone, y a comprobar que la planificación del vuelo este correcta; verificar que no existan obstáculos en la zona de despegue y aterrizaje, y corroborar que la dirección y velocidad del viento sean las adecuadas.



Figura 4. Inicio de Vuelo con UAV

2.5. FASE DE LABORATORIO.

Para esta fase se utilizaron programas especializados como el Pix4Dmapper (2016), eMotion2, propios del Drone, en donde se realizaron los siguientes procedimientos:

- Descarga de fotografías aéreas del drone con su respectivo archivo de posicionamiento georeferencial y altitudinal (de los sensores internos del UAV).
- Incorporación de los puntos de control de suelo (GCPs) de la red geodésica levantada.
- Generación de coincidencias entre puntos de control e imágenes procesadas.
- Reporte de calidad, en donde indica solapamiento entre fotos, puntos de enlace, varianza absoluta y relativa de la Geolocalización en X, Y, Z, generación de nube de puntos, generación de DSM (Modelo Digital de Superficies); Generación de Ortofotomosaico. (Pix4DMapper Pro User Manual, 2016).

III. RESULTADOS

3.1. POST - PROCESAMIENTO DE RED GEODÉSICA DE 4TO ORDEN O GCP

Post - procesamiento con programa GNSS Solutions.

Los datos crudos recogidos por el receptor móvil deben ser procesados para determinar la relación diferencial existente entre los puntos ocupados durante la toma de datos. El resultado del procesamiento de datos brutos DGPS es un vector que define esta relación. El cálculo de estos vectores constituye la tarea del módulo de procesamiento de datos de GNSS Solutions. (GNSS Solutions, 2005).

Con estas consideraciones, los datos obtenidos para los 6 GCP de la red geodésica de 4to orden fueron (Tabla I):

TABLA I.
COORDENADAS MEDIDAS Y POST - PROCESADAS CON PROGRAMA GNSS SOLUTIONS

Código	Xprocesado	Yprocesado	Zprocesado	Xerror	Yerror	Zerror
				95%	95%	95%
P1	748367,679	9690861,391	2202,527	0,158	0,145	0,192
P2	748736,337	9690818,142	2198,921	0,056	0,056	0,055
P3	748877,275	9691088,076	2197,817	0,051	0,055	0,062
P4	748509,008	9691212,009	2198,648	0,056	0,056	0,061
P5	748884,818	9691271,282	2196,808	0,056	0,056	0,057
P6	748579,751	9691389,844	2199,028	0,099	0,12	0,134
PROMEDIO				0,079	0,081	0,094

Como se puede observar en la Tabla I, los residuales de las coordenadas procesadas en cuatro de los 6 puntos, están por debajo de los 10 cm, con excepción del P1 que se encuentra en 0,158 en X; 0,145 en Y, y 0,192 en Z; P6 que tiene un error o incertidumbre de 0,099 en X; 0,120 en Y, y 0,134 en Z; estos errores pueden deberse posiblemente en fallos de lectura del DGPS, o en el momento de realizar el post-proceso con los datos de la estación CUEC los vectores de calibración calculan más error en estos dos puntos. Esto puede significar que al momento de realizar la calibración de la fotografía aérea, el modelo contenga errores superiores a los aceptados por el IGM.

Como se puede observar en la Tabla I, los residuales de las coordenadas procesadas en cuatro de los 6 puntos, están por debajo de los 10 cm, con excepción del P1 que se encuentra en 0,158 en X; 0,145 en Y, y 0,192 en Z; P6 que tiene un error o incertidumbre de 0,099 en X; 0,120 en Y, y 0,134 en Z; estos errores pueden deberse posiblemente en fallos de lectura del DGPS, o en el momento de realizar el post-proceso con los datos de la estación CUEC los vectores de calibración calculan más error en estos dos puntos. Esto puede significar que al momento de realizar la calibración de la fotografía aérea, el modelo contenga errores superiores a los aceptados por el IGM.

Post - procesamiento con programa Trimble Business Center (TBC) v3.4.

El post-procesamiento es muy similar al anterior programa; en primer lugar se coloca el datum, sistemas de coordenadas y demás datos requeridos al nuevo proyecto creado, luego se cargan los puntos levantados en campo por el DGPS (datos crudos), seguido de esto los datos de la estación base CUEC, si se aplica el post-procesamiento (TBC, 2014). En este caso, TBC, detecta dos puntos que sobrepasan el rango de error de 10 cm y para el análisis éstos datos "Desacoplan", por lo que les anula del análisis ya que no entran dentro del 95% de confianza, estos puntos fueron P1 y P2.

Se debe mencionar que P1 y P2 fueron tomados aproximadamente a las 13H00; este mayor error se pudo dar porque algu-

nos de los satélites tuvieron brechas o cortes de información en sus datos, siendo este un indicio de pérdida de ciclo de la señal satelital, errores de gama no válida y otros problemas de perdida de señal. (TBC, 2014)

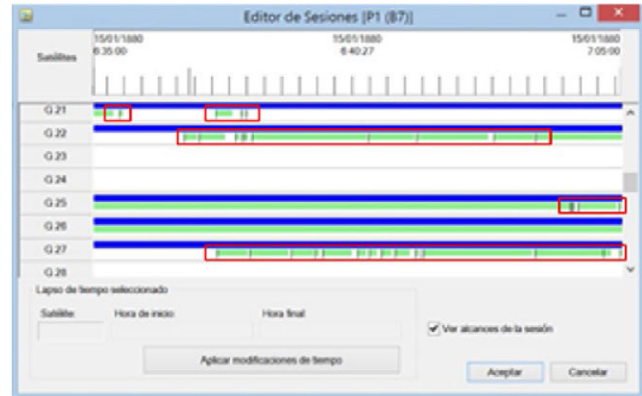


Figura 5. Errores de Información de Satélite para P1

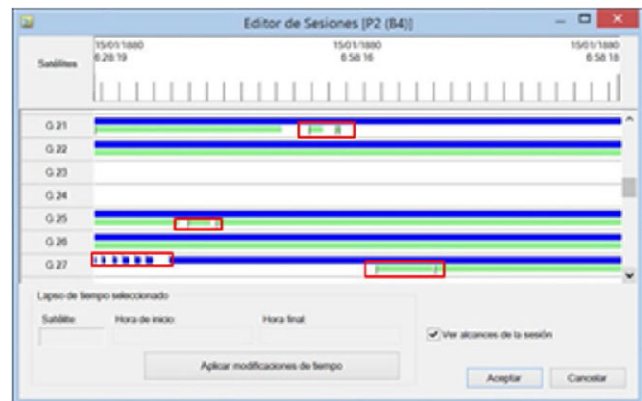


Figura 6. Errores de Información de Satélite para P2

En donde los colores verde y azul representan la continuidad de los datos emitidos por los satélites, en tanto que las líneas de color negro (dentro de los recuadros rojos) muestran la ruptura y la discontinuidad de datos que pudo dar origen a los errores en los puntos mencionados.

TABLA II.
DATOS PROCESADOS POR PROGRAMA TBC (EN ROJO DATOS QUE DESACOPLAN)

Código	Xprocesado	Yprocesado	Zprocesado	Xerror	Yerror	Zerror
				95%	95%	95%
P1	748368,617	9690860,918	2202,94	0,175	0,104	0,114
P2	748737,146	9690818,031	2199,154	0,352	0,141	0,162
P3	748878,163	9691087,93	2197,994	0,011	0,03	0,033
P4	748509,091	9691211,808	2198,566	0,012	0,03	0,031
P5	748885,711	9691271,141	2196,943	0,026	0,04	0,047
P6	748580,254	9691390,243	2198,048	0,017	0,041	0,045
PROMEDIO				0,099	0,0643	0,072

Los Puntos 1 y 2 presentan errores altos con respecto a los demás puntos debido a que las lecturas del DGPS sufrieron pérdida de señal (Figuras 5 y 6), esto provocó que al momento del post-proceso sus residuales sean muy superiores a los otros GCP, por lo que podrían causar ruido en el post-proceso de la fotografía aérea.

Como se puede notar, al comparar las coordenadas resultantes del post-proceso del Programa GNSS Solutions (propio del DGPS Promark 120) y del Trimble Business Center (TBC) v3.4, existen diferencia de 2 a 3 m; se debe indicar que el GNSS Solutions, fue

creado en el año 2005, y hasta el momento no ha tenido actualizaciones; en cambio TBC es del año 2014; por lo que se puede deducir que sus algoritmos de cálculo y calidad de productos es mejor que el GNSS Solutions, pudiendo éstos datos tener mejor grado de confiabilidad (Delgado, Com. per, 2016)

3.2. PROCESAMIENTO DEL VUELO

Descarga de datos del vuelo realizado por medio del programa eMotion 2, en donde se descargan los fotogramas y posteriormente los datos de los sensores internos del dron, tanto los de posicionamiento como los de altura.

El siguiente paso es cargar en el Programa Pix4Dmapper la secuencia de las 99 imágenes del vuelo, calibrando al programa con el mismo datum y sistema de coordenadas que se ha estado trabajando.

A continuación, se carga el archivo de posicionamiento y de alturas para que combinen internamente fotos y datos.

Luego de este paso, se importan los puntos de DGPS post procesados, y se inicia la calibración manual con los GCP's (Puntos de control de suelo).

Se debe tener en cuenta que es necesario calibrar por lo menos dos fotogramas para que el programa inicie el mecanismo de post-procesamiento. El mecanismo para el ajuste, es dar un clic sobre el punto de control en la nube de puntos (recuadro rojo), inmediatamente se despliega una pantalla donde aparecen las fotografías en las que el GCP de la red geodésica de 4to orden se encuentra, se realiza un zoom adecuado y se da un clic en el centro del GCP (representado por una cruz amarilla en fondo rojo), y mientras más fotografías se puedan corregir por punto de control mejor será la precisión (circulo azul), luego de realizar los ajustes correspondientes, se da la orden al programa de re-optimizar y ajustar las fotografías a las correcciones efectuadas. Una vez realizado este paso, se generan datos de calibración del GCP ejecutado (recuadro amarillo). Se repite este paso para los 6 GCP de la red geodésica. (Anexo 3)

Luego de la calibración existen datos que muestran la calidad de la calibración entre estos:

- La Varianza a posteriori (S^2).- Que da una idea del error de la proyección, valor que al acercarse más a 0 indica la precisión en la calibración del punto.
- Error teórico $S(X, Y, Z)$.- Se refiere al error de calibración entre fotografías, se recomienda muestrear en más de 2 fotogramas para reducir esta incertidumbre, mientras más cercano a 0 la corrección es más exacta
- Distancia Ortogonal máxima al haz $D(X, Y, Z)$.-La distancia ortogonal máxima es la distancia máxima desde el punto 3D estimado y todos los rayos utiliza para calcular este punto 3D. La distancia se mide entre el punto 3D y el punto definido por la línea perpendicular al rayo que pasa por el punto 3D. Mientras más cercano a 0 su medición es más exacta.
- Error de posición inicial de punto de apoyo.- Error teórico que es calculado a partir de las calibraciones del punto inicial de apoyo.
- Posición Inicial y Posición Calculada.- Son datos de corrección donde muestra en coordenadas los desplazamientos iniciales y los resultados finales.

3.2.1 Modelo 1: Calibración de la Ortofoto con GCP's post-procesados por programa GNSS Solution.

Para poder comparar resultados de precisión y calidad, se rea-

lizó cuatro tipos de calibraciones o post - proceso al vuelo generado con el dron.

En primer lugar se evaluó los resultados con los GCP's post-procesados con el programa GNSS Solutions, en donde se incluyó 6 GCP's de los cuales 4 fueron puntos 3D de Apoyo y 2 Puntos de Control, esto para una mejor calibración; puesto que el programa Pix4DMapper pide como un condicionante la colocación de al menos un Punto de Control (check point), dejando a los demás puntos como Puntos de Apoyo 3D; para la siguiente prueba se colocaron como puntos de control P3 y P4.

El programa Pix4DMapper, genera un reporte de calidad de los productos procesados, que enumera todas las características de los procesos realizados y la calidad de los productos generados (Anexo 4), y entre estos acápite se encuentra los Detalles de Geolocalización (Geolocation Details) de los Puntos de Control de Suelo (Ground Control Points)

En el Anexo 4, se puede observar los rangos de los errores en X, Y, Z, medidos en metros y los errores medios en las tres direcciones de coordenadas. La última columna cuenta el número de imágenes calibradas donde el GCP se ha verificado de forma automática vs la marcada manualmente, en donde la media del error de los 4 puntos 3D en $X=0,0255$; en $Y=-0,0623$; $Z=-0,1302$; errores que no superan los 10 cm a excepción de la altura Z. Pudiendo asumir que los errores entran dentro de un rango bajo según lo requerido por el IGM (2008)

En tanto que en los puntos de control, el error de P3 es exagerado en Z (-0,820 m); y en P4 en X presenta un alto error de 0,691 m y en Z -0,541 m; si lo comparamos con lo que exige el IGM (2008) en calidad y precisión; por lo que este modelo no cumple con la hipótesis planteada

En tanto que el Sigma y el RMS de los puntos de control son muy altos, lo que hace que esta prueba sea poco confiable, sobre todo en las coordenadas X y Z, si lo comparamos con lo que pide el IGM (2008).

El Anexo 5 muestra el mapa en donde constan los GCP's post-procesados sobre el ortofotomosaico corregido en base a estos mismos puntos. En donde se pueden visualizar los errores de posicionamiento.

3.2.2 Modelo 2: Calibración de la Ortofoto con GCP's post-procesados por programa Trimble Business Center con 6 GCP.

Para este modelamiento, igual que el caso anterior, se usaron los 6 GCP, pese a que el Programa TBC descarto 2 GCPs (Punto 1 y 2), por contener mayor error que los anteriores, para que pueda ser comparado con el modelo anterior, se colocaron los mismos puntos de Apoyo 3D (P1, P2, P5 y P6) y como Puntos de Control (Check Points) P4 y P5. De igual manera que el caso anterior el programa Pix4DMapper genera el reporte de calidad.

Como se observa en el Anexo 6, la media de los errores de X, Y, Z; son más bajos, si las comparamos con el modelo anterior, a excepción de X, la media es de -0,0777; Y es -0,0518 y en Z -0,0851; esto dentro de los 4 GCP (P1, P2, P5 y P6). El error de proyección medido en pixels (0,658 cm como promedio), no alcanza a un pixel, siendo su valor más alto el asignado para el punto 3D P5

En donde existe una diferencia significativa con el modelo anterior, es en los Puntos de Control (Check Point) en donde el error en X es de 0,1955, en Y 0,0203 y en Z -0,4766; por lo que su Sigma y RMS también es menor, siendo este modelo más preciso que el anterior. (Anexo 6)

El Anexo 7 muestra la localización de los 6 GCPs post-procesados con referencia al ortofotomosaico calibrado a partir de estos mismos puntos. Este modelo muestra menos desplazamiento de los centros de las marcas de suelo y los GCPs post-procesados, en especial en P2, P3, P5 y P6; en tanto que P1 y P4 se alejan más del centro de la marca de suelo.

3.2.3 Modelo 3: Calibración de la Ortofoto con GCP's post-procesados por programa Trimble Business Center con 4 GCP.

Para este modelo, se utilizaron solo los GCP que no desacoplaron en el análisis de post-procesamiento del Programa TBC, siendo estos, P3, P4 y P6, como puntos 3D, y como punto de control (Check Point) P5. Los resultados que a continuación se presenta fueron extraídos del reporte de calidad del modelo 3.

Como se puede observar en el Anexo 8 los puntos 3D y el Punto de Control no superan los 0,0512 m de error ya sea en X, Y o Z, tanto en los puntos 3D como en el punto de control; se debe considerar además que la media de X, Y, Z de los puntos 3D su precisión es de milímetros. Lo mismo ocurre con Sigma y el RMS, haciéndole a éste un modelo muy preciso si lo comparamos con los otros dos modelos realizados. Se realizó el mismo ejercicio que en los dos modelos anteriores, y se cotejó en un mapa la precisión entre los GCPs post-procesados y el ortofotomosaico procesado con los mismos GCPs, los resultados se muestran en el Anexo 9.

3.2.4 Modelo 4: Calibración de la Ortofoto con GCP's post-procesados por programa GNSS Solutions con 4 GCP.

Para guardar rigor estadístico comparativo, se construyó este modelo, utilizando 4 de los 6 GCP post-procesados con el programa GNSS Solutions, siendo estos; P3, P4 y P6, como puntos 3D, y como punto de control (Check Point) P5. Los resultados del modelo 4 fueron extraídos del Reporte de Calidad.

Si el Punto de Control (Check Point) P5 en el Anexo 10, se observa que los valores en Y y Z superan los límites exigidos por el IGM (2008). Por tanto el modelo 4 se descarta, y el modelo 3 se considera como el mejor producto de la presente investigación.

Al igual que los modelos anteriores, se colocan los 4 CGP en el ortofotomosaico calibrado por estos mismos puntos. (Anexo 11) Como se observa en la figura los puntos con mayor desplazamiento son P4 y P5.

3.2.5 Comparación visual entre Modelos.

Al comparar el Modelo 3 (colores reales), con el Modelo 1 (colores en negativo), se puede observar que en modelo 1 existe un desplazamiento de aproximadamente 0,90 m hacia el oeste; esto medido con la herramienta Measure del programa Arcgis 10.2 (Figura 7)



Figura 7. Comparación de precisiones entre Modelo 3 (más preciso) con Modelo 1.

De igual forma se realizó la comparación del Modelo 3 (colores reales) con el Modelo 2 (colores en negativo), y se pudo observar y medir que existe un desplazamiento de aproximadamente 0,10 m hacia el oeste, esto medido con la herramienta Measure del programa Arcgis 10.2. La Figura 8 muestra el desplazamiento que es casi imperceptible.

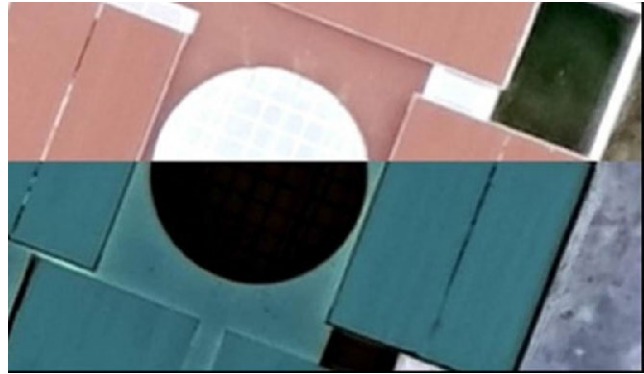


Figura 8. Comparación de precisiones entre Modelo 3 (más preciso) con Modelo 2

En la Figura 9, al igual que los casos anteriores, se compara el Modelo 3 (más preciso, de colores reales) con el Modelo 4 (colores azulados), y se puede observar que existe un desplazamiento del Modelo 4 de 0,40 m al oeste; esto medido con la herramienta Measure del programa Arcgis 10.2

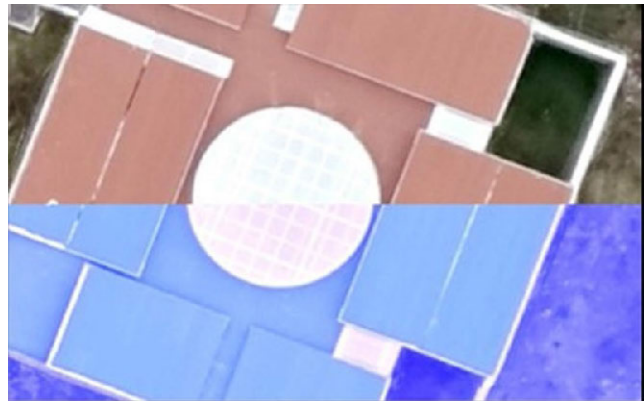


Figura 9. Comparación de precisiones entre Modelo 3 (más preciso) con Modelo 4

3.2.6 Comparación visual con ortofoto del proyecto SIGTIERRAS.

Aunque las escalas son diferentes, puesto que la ortofoto del SIGTIERRAS presenta una espacial a 1:5.000 (30 cm tamaño de pixel) y su toma esta dada entre los años 2009 y 2010, en tanto que el ortofotomosaico está a escala 1:1.000 (10 cm tamaño de pixel) para 2016; pero se puede, de cierta manera visualizar si existe variación posicional o de precisión entre los dos productos.

Como se puede observar en la Figura 10, el ortofotomosaico generado en la presente investigación (parte inferior, colores vívidos) y la ortofoto del proyecto SIGTIERRAS (parte superior colores pálidos); prácticamente no presentan diferencias en su precisión, ya que existen coincidencias con vías, viviendas, linderos, entre otras, las diferencia no se pudieron medir claramente por la diferencia en el tamaño del pixel, pero se calcula que están alrededor de 0,01 m; esto medido con la herramienta Measure del programa Arcgis 10.2



Figura 10. Comparación visual de precisión entre ortofoto del SIGTIERRAS y el Ortofotomosaico de la presente investigación

3.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS OBTENIDOS CON LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL IGM.

Para este acápite, se tomaran en cuenta algunas especificaciones técnicas dadas por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador, que permitirá convalidar los resultados obtenidos en la presente investigación.

3.3.1 Con las Especificaciones técnicas Generales para la realización de Cartografía Topográfica a Cualquier Escala (Primer Borrador) año 2006.

En este documento se describen las especificaciones técnicas para el vuelo y toma de fotografía aérea para aviones tripulados, a continuación en la Tabla III, se coloca una lista de cumplimiento de los procesos descritos por el IGM (2006).

Como se puede observar en la Tabla III, se cumple la mayoría de requerimientos técnicos observados en este documento; se supera en el traslape longitudinal y lateral; pero no se cumple con el tiempo de lectura del DGPS, ya que para esa época, los equipos tenían menor tecnología y la REGME no estaba tan densificada. Al consultar con los técnicos del IGM, ellos mencionaron que para la distancia (28,7 km) de donde está el sitio de estudio a la estación CUEC, solo eran necesarios 30 min de lectura. (Yépez, com. per., 2016)

Existen otros parámetros y condicionantes que no fueron observados en este documento, ya que en el mismo mencionan y características propias de vuelos tripulados con cámaras analógicas para fotografía aérea

3.3.2 Con las Especificaciones técnicas para Ortofotos Digitales (Primer Borrador) año 2008.

Este documento producido por el IGM (2008), detalla las especificaciones técnicas para la obtención de ortofotos y ortofotomosaicos, tomando en cuenta los pasos necesarios para asegurar que los productos cumplan con los parámetros de exactitud.

Se hace mención a la necesidad de tomar puntos de control para la calibración del modelo resultante; además aluden a las correcciones de deformidad (paralelaje) de las fotos, y de cómo escoger el mejor método para este procedimiento. Además mencionan que se deben realizar correcciones radiométricas para la estandarización del color y la brillantez de la ortofoto.

Mencionan además, que las ortofotos deben contener continuidad o traslape adecuado, y que este va a depender de las características del terreno.

TABLA III.

LISTA DE COMPROBACIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR PARA LA TOMA DE FOTOGRAFÍA AÉREA.

Condiciones de Vuelo	IGM	Investigador
<i>LÍNEAS DE VUELO</i>		
Fotografías Sucesivas ángulo no mayor a 5°		Cumple
Líneas de vuelo paralelas Angulo no mayor a 5°		Cumple
<i>RECUBRIMIENTO</i>		
Terreno Plano 60% traslape longitudinal		75% (Supera)
Terreno Plano 60% traslape lateral		75% (Supera)
<i>CONDICIONES METEOROLÓGICAS</i>		
Cielos despejados, sin nubes, suelo sin bruma		Cumple
<i>CONDICIONES DE CAMARA FOTOGRAFÉTRICA</i>		
Cámara de precisión de buena resolución espacial (tamaño de pixel)		Cumple
		Cumple
Gráficos de Vuelo (líneas de plan de vuelo)		Cumple
<i>SISTEMAS DE NAVEGACIÓN CINEMÁTICOS</i>		
Plan de Vuelo		Cumple
Correcciones de datos de DGPS		Cumple
Metadatos indicando sistema de coordenadas		Cumple
SIRGAS /WGS84		Cumple
<i>TRABAJOS DE APOYO</i>		
Al menos 2 DGPS L1 o L1/L2		DGPS L1
GPS dentro del avión		Cumple
Uso de la REGME para post-proceso		Cumple
Tiempo de Lectura de DGPS por punto (70 min)		30 min
<i>CONDICIONES DE LOS PUNTOS DE APOYO</i>		
Calibrados por datos de alguna estación REGME		Cumple

Algo que deja muy claro este documento es que la exactitud horizontal de la ortofoto u ortofotomosaico, depende de la calibración de la cámara y la exactitud de los puntos de control que deben estar calculados con un intervalo de confianza del 95%.

Además indica las especificaciones técnicas de exactitud para ortofotos digitales, misma Figura 16 que a continuación se detalla.

ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)	ESCALA DE ORTOFOTOS	TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)	PRECISIÓN HORIZONTAL (EN METROS)	PRECISIÓN VERTICAL (EN METROS)
1:5 000	0.07	1:1 000	0.10	0.30	0.25
1:10 000	0.14	1:2 000	0.20	0.60	0.50
1:20 000	0.28	1:2 500	0.25	0.80	0.60
1:30 000	0.42	1:5 000	0.50	1.50	1.25
1:60 000	0.84	1:10 000	1.00	3.00	2.50
1:60 000	0.84	1:20 000	1.00	6.00	2.50
1:60 000	0.84	1:25 000	1.00	7.50	5.00
1:60 000	0.84	1:50 000	2.00	15.00	10.00

Figura 11. Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales

Como se puede observar en la Figura 16, las especificaciones técnicas para la precisión horizontal (X, Y) es de 0,30 m; en tanto que para la presión vertical es de 0,25 m, tomando en cuenta un tamaño de pixel de 10 cm.

Tomando en cuenta estas especificaciones técnicas, y considerando sus precisiones tanto horizontal como vertical, el Modelo 1 no calificaría dentro de los parámetros exigidos por el IGM, en tanto que el Modelo 2 por la media en los Puntos de Control no califica solo en la precisión vertical, al igual que el Modelo 4.

Al revisar el Modelo 3, y fijarse en la media del Punto de Control (check point) de sus coordenadas X, Y, Z; éstas cumplen por un amplio margen la precisión establecida por el IGM en sus especificaciones técnicas.

Si se quiere ser más rígido y analizar los datos del Modelo 3, sumándole el error residual del post-procesamiento de los GCP y los del post-proceso del ortofotomosaico, se tendría:

TABLA IV.
SUMATORIA DE ERRORES DE POST-PROCESAMIENTO DE DATOS PARA MODELO 3.

Errores	X	Y	Z
Error Post-proceso GCP (m)	0,017	0,035	0,039
Error Post-proceso Ortofoto (m)	-0,0387	0,0512	0,0075
Sumatoria	-0,0217	0,0862	0,0465

Como se puede apreciar en la Tabla IV, si se suman los dos errores del post-procesamiento ésta sigue cubriendo con amplio margen el requerimiento planteado por el IGM en sus especificaciones técnicas.

Cabe mencionar que el sitio de estudio es un área de poco relieve, puesto que en general la ciudad de Paute no presenta cambios abruptos de pendiente. En caso de que se desarrollase una investigación en una zona urbana o de expansión que presente pendientes pronunciadas (mucho relieve) se debe considerar que las lonas de las marcas de suelo o tierra deben ser colocadas en sitios en los cuales las mismas no queden inclinadas en dirección de la pendiente, ya que esto podría generar dificultades en el momento de las calibraciones manuales de las fotografías en los software especializados, por lo que se debería procurar colocar estas marcas en zonas planas tales como veredas o vías ubicadas en cimas de las colinas, en cajas de control de alcantarillado, canchas deportivas, parques, plazoletas, entre otros. Por lo demás las consideraciones para mantener precisiones dentro de las Normas IGM se basan en la adecuada medición de los GCP o red geodésica de 4to orden.

AGRADECIMIENTOS

Hay muchas personas e instituciones que debo agradecer, entre estas: Omar Delgado por ser un verdadero maestro y guía, quien supo formarme en el tema de Geomática; a la empresa INSIGMA Cia Ltda, A la empresa DRONEXT Cia Ltda, en especial a Diego Ríos y Lisseth Cure, quienes confiaron en mí para la ejecución de esta investigación. Además debo agradecer a Diego Pacheco, Paul Ochoa, y Chester Sellers que con sus valiosos consejos supieron mejorar la presente investigación.

REFERENCIAS

- Coello, A. Ballesteros, G. 2015. Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Técnicos en Topografía, Geodesia y Cartografía. Universidad politécnica de Madrid.
- Cuerno, C. 2015. Cap. 1. Origen y desarrollo de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Graficas Arias Montano. Madrid - España.
- Delgado, O. 2016. Comunicación Personal en Reunión de Trabajo.
- Drewes, H. 2014. Sistemas de Referencia. Sistema de Referencia Geocéntrico de las Américas SIRGAS - Instituto Geográfico Militar (www.igm.gob.ec). Quito - Ecuador.

IV. CONCLUSIONES

Luego del análisis y discusión de los resultados, tanto de campo como de laboratorio y la relación entre éstos se pueden sacar las siguientes conclusiones principales.

- La base para la precisión del ortofotomosaico y demás productos fruto del levantamiento con el UAV/Drone, es el diseño y medición de la red geodésica de 4to orden o GCPs; debido a que estas actividades proporcionan los datos iniciales de los cuales la investigación se basa y fundamenta sus precisiones; una red adecuadamente medida, siguiendo las recomendaciones técnicas dadas por el IGM en sus diferentes publicaciones, asegura que los resultados sean los más precisos. Para la presente investigación se diseñó y midió la red geodésica de 4to orden de manera adecuada, y fruto de eso se pudo obtener un modelo con exactitudes que entran dentro de los parámetros del IGM. Es recomendable densificar más la red geodésica de 4to orden o GCP para que, si existen puntos que no están bien medidos, existan más puntos que puedan ser auxiliares de la medición.
- Otra conclusión importante que se debe tomar en cuenta, es el trabajar con programas especializados y actualizados para las tareas de post-procesamiento, porque de estos programas también dependen que los datos levantados o medidos en campo cumplan con los estándares adecuados de precisión. Por eso al comparar los productos del post-procesamiento entre el programa GNSS Solutions (año de producción 2005) con el programa Trimble Business Center v3.4 (año de producción 2014), los resultados de este último son los más precisos.
- Se concluye que el Modelo 3 post-procesado con 4 GCPs (en Trimble Business Center), fue el modelo que mayor precisión presenta comparándole con los modelos 1, 2 y 4; ya que excluyó del análisis a los puntos P1 y P2 que mayor ruido en la medición tuvieron, dando un modelo de centímetros de precisión.
- Una de las conclusiones más importantes de esta investigación es que los productos generados por el UAV/Drone, cumplen con las especificaciones técnicas de precisión, tanto horizontal y vertical dados en los documentos técnicos del IGM; si bien es cierto no se pueden seguir todo el proceso metodológico por ellos emitido (ya que es para fotografía aérea tomada con aviones tripulados), se realizó lo más similar posible, y los resultados fueron exitosos. Comprobando la hipótesis planteada en la presente investigación.

Emotion 2 Manual. 2015. Extended user manual eBee and eBee Ag. Sensefly Ltd.

Cheseaux-Lausanne - Switzerland. 176 pag. GNSS Solutions, 2005. User Manual. Trimble Navigation Solutions. www.spectraprecisions.com

Haluani, M. 2014. La tecnología aviónica militar en los conflictos asimétricos: historia, tipos y funciones de los drones letales. Revista Cuestiones políticas Vol. 30 No 52. Maracaibo - Venezuela

IGM, 2006. Especificaciones Técnicas Generales para la realización de Cartografía Topográfica a cualquier Escala (Primer Borrador). Sin publicación. www.igm.gob.ec

IGM, 2008. Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales (Primer Borrador) Sin Publicación. www.igm.gob.ec

IGM, 2014. REGME: Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo Cuenca - CUEC. www.igm.gob.ec

INEC, 2011. División político Administrativa del Ecuador. Base de Datos Nacional. Quality Report, 2016. Reporte de Calidad de Pix4DMapper para Modelo 1, 2 y 3 Generados. Sin Publicación

Pachas, R. 2009. El levantamiento Topográfico: Uso del GPS y Estación Total. Laboratorio de Topografía. Departamento de ingeniería. Núcleo Universitario Raquel Rangel. Universidad de los Andes. Trujillo - Venezuela.

Paredes, D y Noguera, A. 2015. Cap. 5. Aplicaciones Cartográficas de los UAV's. Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Graficas Arias Montano. Madrid - España.

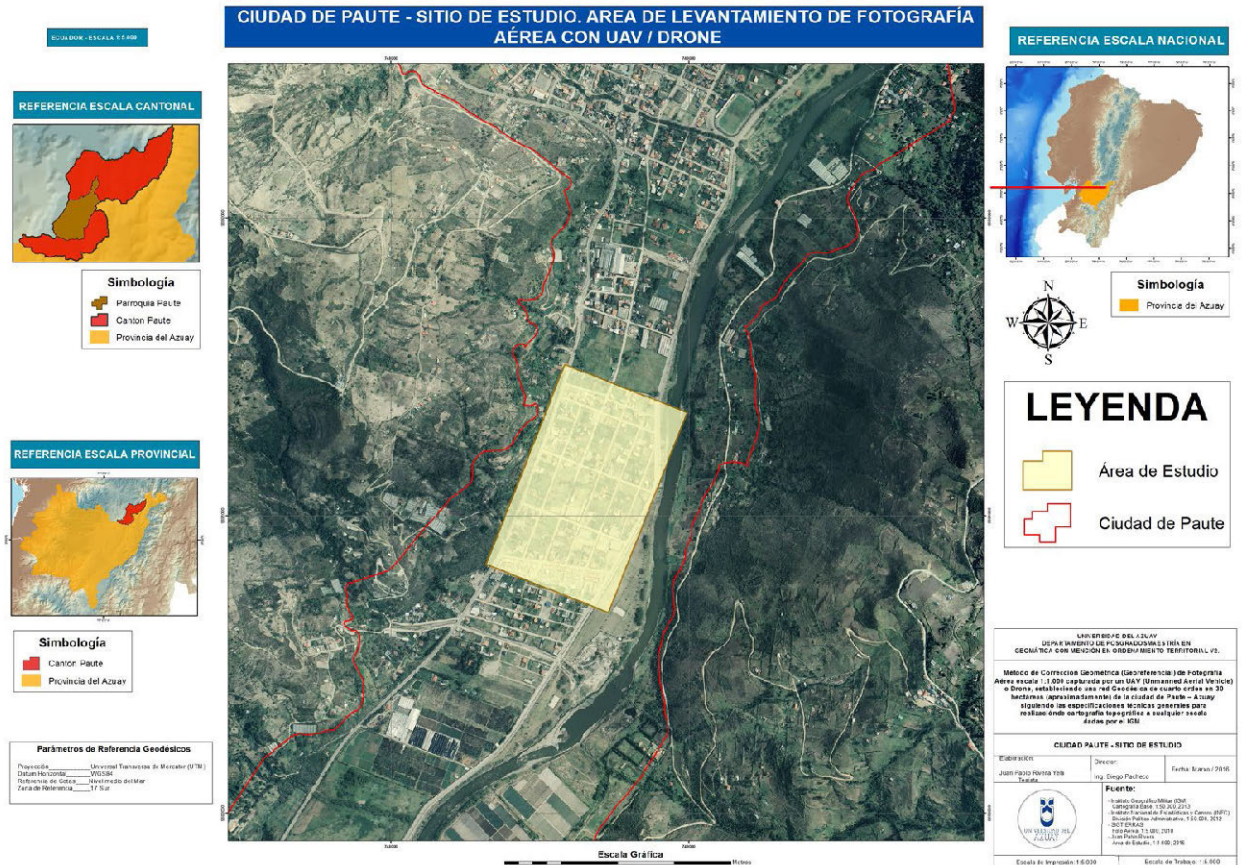
Pix4DMapper, 2016. Manual del Usuario y procedimientos. https://support.pix4d.com

TBC (Trimble Business Center v2.4), 2014 Manual para post-procesamiento de datos de campo. Trimble Navigation Solutions. www.trimble.com

Velasco, J. García-Nieto, S. Reynoso-Meza, G. y J. Sanchis. 2012. Desarrollo y Evaluación de una estación de control de tierra para Vehículos aéreos no tripulados. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia - España.

Yépez. 2016. Técnico del Instituto Geográfico Militar Comunicación Personal por medio de conferencia telefónica.

Anexo 1



Anexo 2

CIUDAD DE PAUTE - SITIO DE ESTUDIO. ÁREA DE LEVANTAMIENTO DE FOTOGRAFÍA AÉREA CON UAV / DRONE

REFERENCIA ESCALA CANTONAL



Simbología
 ■ Parroquia Paute
 ■ Cantón Paute
 ■ Provincia del Azuay

REFERENCIA ESCALA PROVINCIAL



Simbología
 ■ Cantón Paute
 ■ Provincia del Azuay

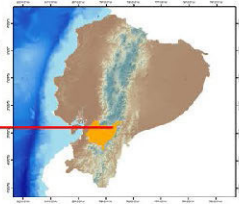
Parámetros de Referencia Geodésicos

Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: WGS84
 Referencia de Cero: Nivelamento dinámico
 Escala Horizontal: 1:50000



Escala Gráfica

REFERENCIA ESCALA NACIONAL



Simbología
 ■ Provincia del Azuay

LEYENDA
 ● Ground Control Points
 ■ Área de Estudio
 ■ Ciudad de Paute

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 DEPTO. INGENIERÍA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS EN
 GEOMÁTICA CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL, VI.

Módulo de Corrección Geométrica (Georeferencia) de Fotografía
 Aérea Escala: 1:50000 preparada por un UAV (Drone) con cámara
 o Drone, estableciendo una red de control de su cuarto orden en 30
 puntos, representados por la Ciudad de Paute - Azuay
 siguiendo las especificaciones técnicas dadas para
 realizar dicho tipo de trabajos fotogramétricos a escala por el IGN.

CIUDAD PAUTE - GROUND CONTROL POINTS

Etiqueta	Tipo	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precisión Horiz [m]	Precisión Vert [m]
2 P1	3D punto ...	748367.67...	9690861.3...	2202.527	0.020	0.020

Elaborado por: Juan Pablo Rivera Torres
 Fecha: 11/08/2018
 Escala de Trabajo: 1:1000

Anexo 3

Pix4Dmapper Pro - paute_2gnss.s

Proyecto Proceso Ver rayCloud Ayuda

Procesamiento de imágenes con puntos de control.

Propiedades
 Selección
 P1 (3D punto de apoyo)

S_x [pixel]:	0.0044
Error teórico $S_{X,Y,Z}$ [m]:	0.006, 0.006, 0.082
Distancia ortogonal máxima al haz $D_{X,Y,Z}$ [m]:	-0.004, 0.001, 0.000
Error en la posición inicial del punto de apoyo [m]:	-0.308, 0.173, 1.076
Inicial Posición [m]:	748367.679, 9690861.391, 2202.527
Posición calculada [m]:	748367.982, 9690861.218, 2203.683

Etiqueta	Tipo	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precisión Horiz [m]	Precisión Vert [m]
2 P1	3D punto ...	748367.67...	9690861.3...	2202.527	0.020	0.020

Imágenes
 Tamaño de la imagen Nivel de zoom

DSC00587.JPG GCP: P1 DSC00489.JPG GCP: P1

WGS84 / UTM zone 17S - (748416.78, 9690623.79, 2202.74) [m]

Anexo 4

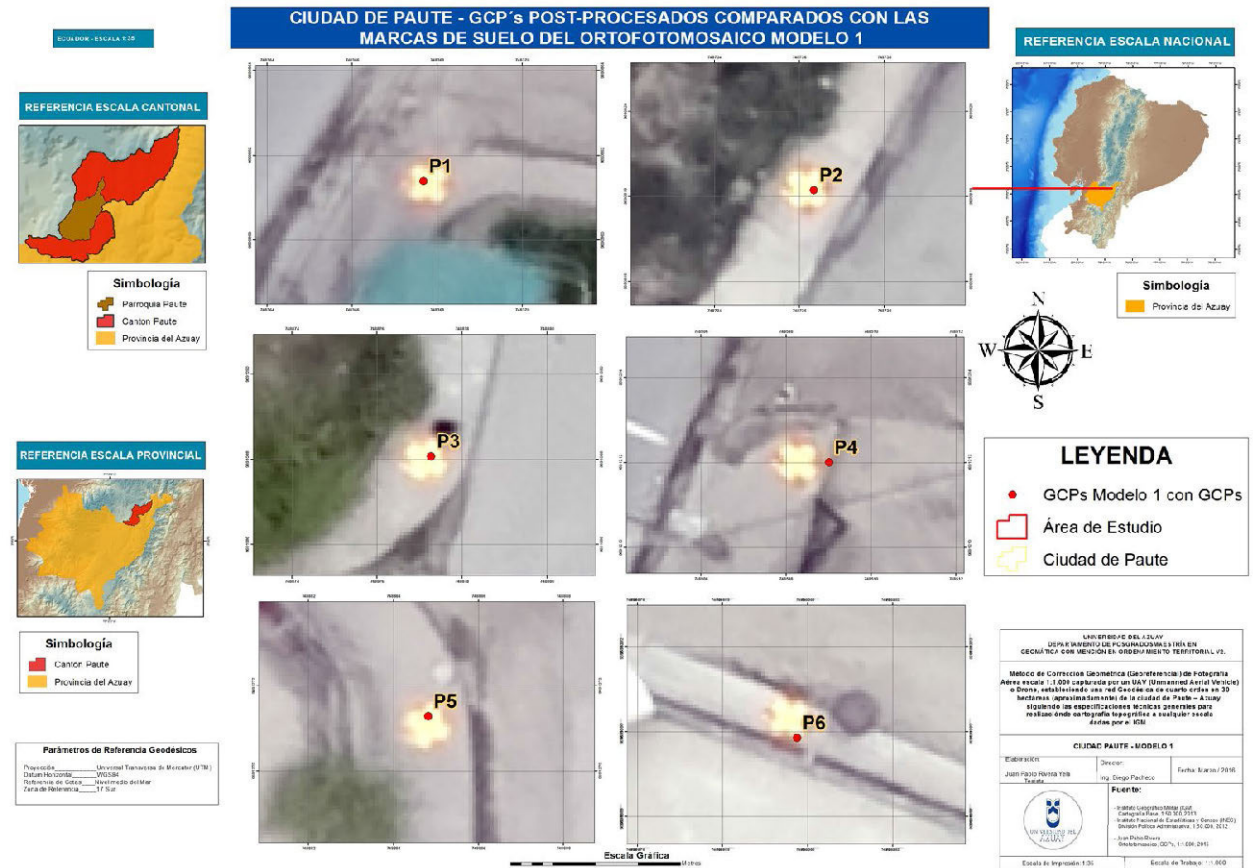
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.136	0.067	0.164	0.627	4 / 4
P2 (3D)	0.020/ 0.020	0.124	-0.025	-0.008	0.475	3 / 3
P5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.066	0.146	-0.462	1.342	3 / 3
P6 (3D)	0.020/ 0.020	0.184	-0.437	-0.216	0.521	2 / 2
Mean [m]		0.026529	-0.062342	-0.130296		
Sigma [m]		0.131543	0.224604	0.234035		
RMS Error [m]		0.134191	0.233096	0.267861		

0 out of 2 check pointss have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P3	0.0200/0.0200	0.0697	0.1018	-0.8290	0.1319	2 / 2
P4	0.0200/0.0200	0.6916	-0.0077	-0.5411	0.0141	2 / 2
Mean [m]		0.380638	0.047048	-0.685083		
Sigma [m]		0.310933	0.054785	0.143966		
RMS Error [m]		0.491492	0.072214	0.700046		

Anexo 5



Anexo 6

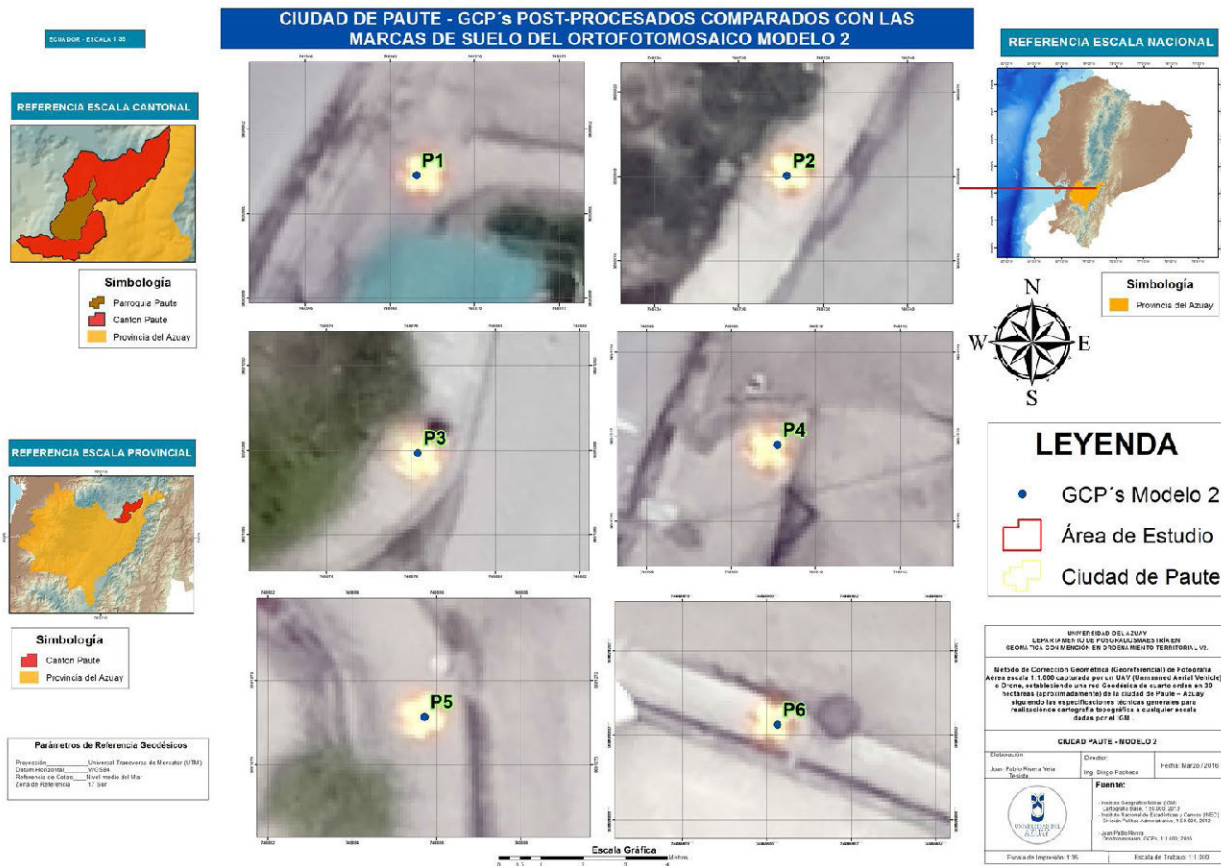
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P1 (3D)	0.020/0.020	-0.170	-0.014	0.980	0.602	4 / 4
P2 (3D)	0.020/0.020	-0.078	0.039	0.675	0.744	5 / 5
P6 (3D)	0.020/0.020	-0.065	-0.088	-1.879	0.408	4 / 4
Mean [m]		-0.104444	-0.021077	-0.074747		
Sigma [m]		0.046572	0.051862	1.282110		
RMS Error [m]		0.114357	0.055981	1.284287		

0 out of 2 check pointss have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P3	0.0200/0.0200	-0.1315	0.1956	-0.9574	2.7377	13 / 13
P4	0.0200/0.0200	0.0712	0.0252	-0.9888	1.2913	4 / 4
Mean [m]		-0.030129	0.110368	-0.973110		
Sigma [m]		0.101334	0.085189	0.015675		
RMS Error [m]		0.105718	0.139422	0.973236		

Anexo 7



Anexo 8

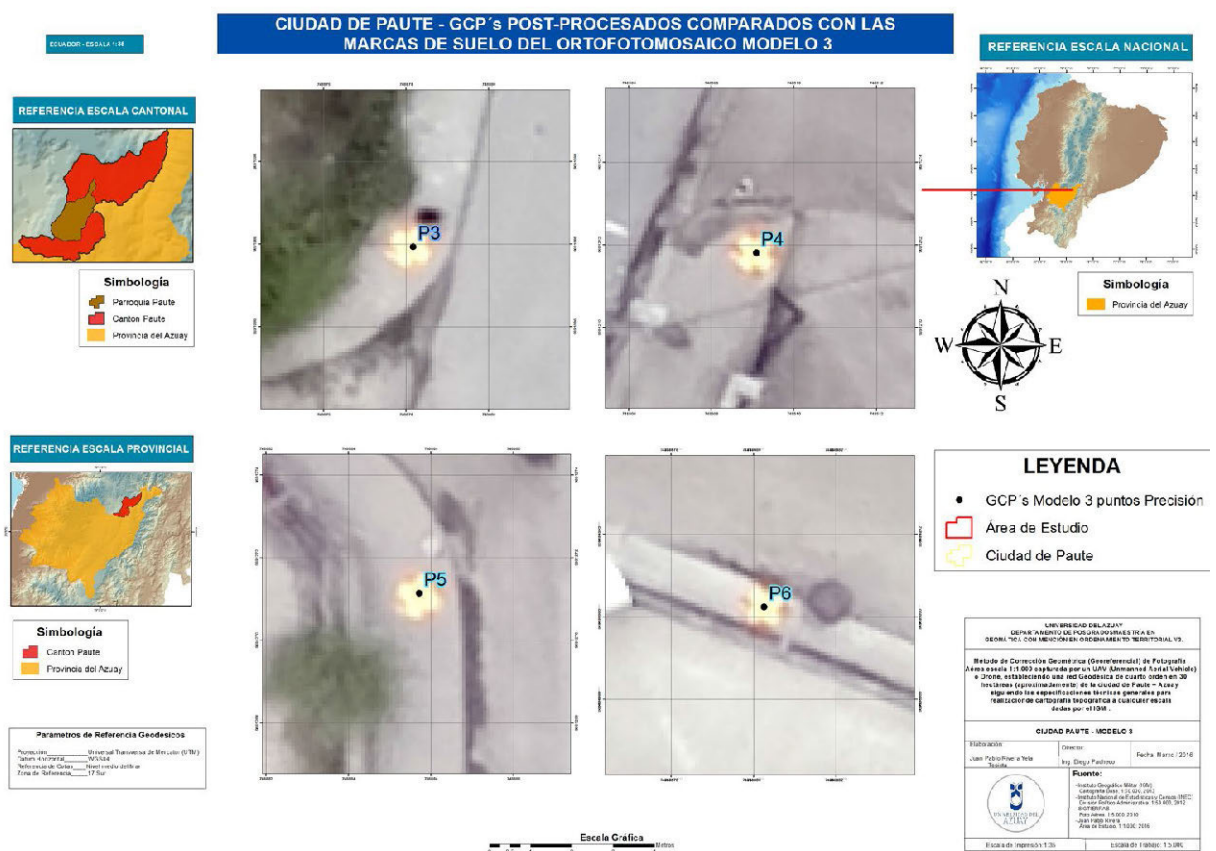
Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.008	0.006	0.312	3 / 3
P4 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.001	0.026	0.749	4 / 4
P6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	0.006	-0.042	0.388	3 / 3
Mean [m]		-0.001215	-0.000487	-0.003284		
Sigma [m]		0.009129	0.005540	0.028258		
RMS Error [m]		0.009210	0.005561	0.028448		

0 out of 1 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P5	0.0200/0.0200	-0.0367	0.0512	0.0075	0.0531	2 / 2

Anexo 9



Anexo 10

Ground Control Points

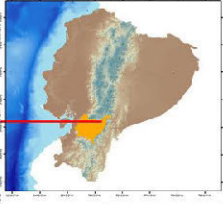
GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P3 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	-0.049	-0.007	0.318	3 / 3
P4 (3D)	0.020/ 0.020	0.089	0.101	-0.173	0.634	3 / 3
P6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.248	-0.094	-1.624	0.247	2 / 2
Mean [m]		-0.045959	-0.013932	-0.601112		
Sigma [m]		0.145737	0.083287	0.726219		
RMS Error [m]		0.152812	0.084444	0.942725		

0 out of 1 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
P5	0.0200/0.0200	-0.0635	0.3296	-2.7153	0.5707	3 / 3

CIUDAD DE PAUTE - GCP's POST-PROCESADOS COMPARADOS CON LAS MARCAS DE SUELO DEL ORTOFOTOMOSAICO MODELO 4

REFERENCIA ESCALA NACIONAL



Simbología
 Provincia de Azuay

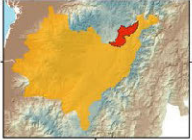


REFERENCIA ESCALA CANTONAL



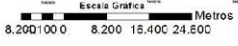
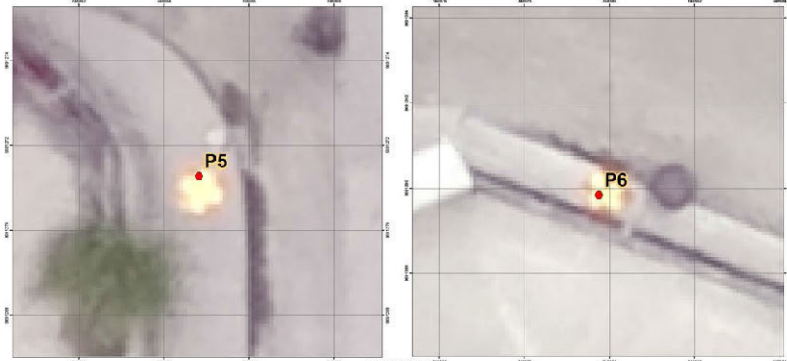
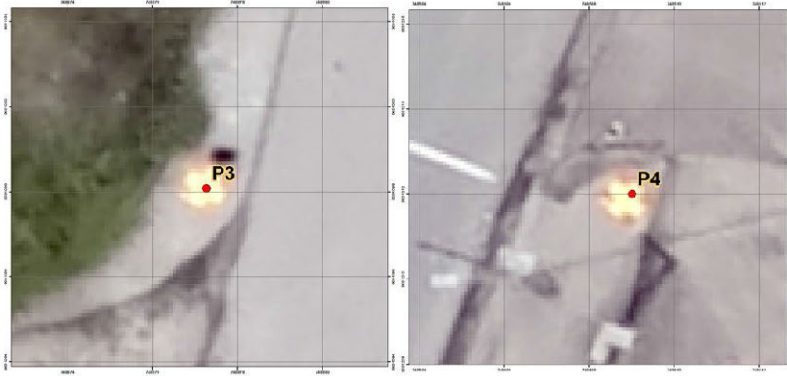
Simbología
 Parroquia Paute
 Canton Paute
 Provincia de Azuay

REFERENCIA ESCALA PROVINCIAL



Simbología
 Canton Paute
 Provincia de Azuay

Parámetros de Referencia Geodésicos
 Proyección: Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum: Ecuador 1955
 Referencia de Cotas: Nivel medio de Mar
 Zona de Referencia: 17 East



LEYENDA

- GCPs Modelo 4
- Área de Estudio
- Ciudad de Paute

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
 INSTITUTO DE FOTOGRAFIA AEREA Y
 GEOMÁTICA CON ENFOQUE EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL 12

Método de Corrección Geométrica (Georeferenciación) de Fotografía Aérea Escala 1:100.000
 Este trabajo se realizó en el marco de la asignatura de Geomática y Cartografía, en el curso de Ingeniería en Geomática y Cartografía, en la Universidad del Azuay, durante el primer semestre del 2016. El trabajo fue supervisado por el profesor Dr. Juan Carlos Rodríguez, quien brindó su apoyo y orientación durante todo el proceso.

CIUDAD PAUTE - MODELO 4

ELABORADOR:	Fecha:	Problema:
JUAN PABLO RIVERA YEA	15/06/2016	Paute, Modelo 4

Puede:

Revisar: Juan Carlos Rodríguez
 Correo: jcarro@unazuay.edu.ec
 Teléfono: 076 222 2222
 Dirección: Universidad del Azuay, Campus Paute, Av. 10 de Agosto, 100100 Paute, Azuay, Ecuador.
 Fecha de impresión: 15/06/2016

ESCALA DE TIRADO 1:1000