

## IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA GEODÉSICA COMO SOPORTE EN LA ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA CON VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

**Sergio Infante, Keiver Núñez, Douglas Bravo, Ruy Pereira**  
**Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura, Universidad Central de Venezuela,**  
**Los Chaguaramos, Dtto. Capital. Caracas Venezuela. Teléfono +58 212-6053043.**  
[sergiorafaucv7@gmail.com](mailto:sergiorafaucv7@gmail.com); [keivernla@gmail.com](mailto:keivernla@gmail.com); [bravod@gmail.com](mailto:bravod@gmail.com);  
[rip265@gmail.com](mailto:rip265@gmail.com);

### RESUMEN

El desarrollo de tecnologías de adquisición masiva de datos geoespaciales ha tenido un auge importante en los últimos años, revolucionando el área de la ingeniería geodésica en cuanto a la generación de productos cartográficos y modelados tridimensionales, dentro de los cuales destacan: modelos digitales de elevaciones, ortofotos, modelos digitales de superficie, entre otros. La versatilidad de estas tecnologías acorta los tiempos de adquisición de datos en campo si se compara con métodos convencionales de topografía. Teniendo en cuenta la importancia de los métodos clásicos de recopilación de información topográfica, este trabajo tiene como objeto evaluar el requerimiento de la infraestructura geodésica necesaria para validar productos geoespaciales orientados a la actualización cartográfica. Para lograr esto, se recopiló la información básica necesaria y se ejecutó el vuelo de un vehículo aéreo no tripulado, gestionando desde la planificación del vuelo hasta la validación de los productos generados. A su vez, se evaluó la cantidad de puntos de control terrestres necesarios para apoyar los levantamientos fotogramétricos aéreos con vehículos aéreos no tripulados, pudiendo concluir que la ubicación, distribución y calidad de los puntos de control terrestre es un factor determinante en el procesamiento, generación y control de los productos geoespaciales cartográficos. En este sentido, se determinó que se requieren de nueve puntos de control terrestre como patrón, ubicándolos en zonas despejadas y distribuyéndolos alrededor de la zona de estudio, específicamente ubicando un punto en cada esquina del área a cartografiar, uno en cada centro de los lados externos y un punto en el centro; no obstante, la cantidad de puntos de control terrestre puede aumentar, principalmente debido a la morfología del terreno de la zona de estudio. Al realizar las validaciones se obtuvo una mejora en planimetría del error medio cuadrático total de 0,752 m entre la ortofoto generada sin puntos de control terrestre con respecto a la otra que sí empleó control terrestre; en este resultado se ve reflejado la mejora de la calidad de los productos geoespaciales con la utilización de una infraestructura geodésica confiable, cumpliendo además con los parámetros establecidos por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos para la validación de productos digitales en planimetría. En este orden de ideas, al evaluar la diferencia del error medio cuadrático en altimetría entre el modelo digital de elevación generado sin infraestructura geodésica con respecto al otro que sí, fue de 6 m, resultado que muestra claramente la necesidad de emplear puntos de control terrestre para generar un modelo digital de elevación con el vehículo aéreo no tripulado que cumpla con las exactitudes en sus elevaciones. El uso de infraestructura geodésica potencia el uso de vehículos aéreos no tripulados en sus distintas aplicaciones, permitiendo la generación de productos cartográficos exactos que facilitan el desarrollo de otras disciplinas que requieren de información georreferenciada, como por ejemplo la geología, geofísica, ecología, biología, hidrología, entre otros.

### ABSTRACT

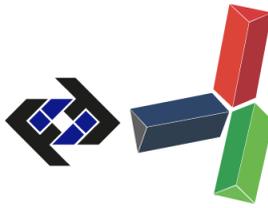
The development of technologies for massive acquisition of geospatial data has had a significant boom in

#### SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



recent years, revolutionizing the geodetic engineering in the generation of cartographic products and three-dimensional modeling, among which stand out: digital elevation models, Orthophotos, digital surface models, among others. The versatility of these technologies shortens field data acquisition times when compared to conventional surveying methods. Considering the importance of the classical methods of collecting topographic information, this paper aims to evaluate the requirement of the geodetic infrastructure necessary to validate geospatial products oriented to the cartographic update. In order to achieve this, basic information was compiled and an unmanned aerial flight was executed, managing from the flight planning to the validation of the generated products. At the same time, the number of ground control points needed to support aerial photogrammetric surveys with unmanned aerial vehicles was evaluated, and it can be concluded that the location, distribution and quality of ground control points is a determining factor in the processing and generation of geospatial mapping products. It was determined that nine ground control points are required, placing them in cleared areas and distributing them around the study area, specifically placing a point in each corner of the photogrammetric block, one in each center of the outer sides and a point in the center of the model; however, the number of ground control points may increase, mainly due to the terrain morphology of the study area. When performing the validations, an improvement in planimetry of the root mean square of 0.752 m was obtained between the orthophoto generated without ground control points with respect to the other one that did use ground control; this result reflects the improvement of the quality of geospatial products with the use of a reliable geodetic infrastructure, also complying with the parameters established by the American Society of Photogrammetry and Remote Sensors for the validation of digital products in planimetry. When assessing the difference between the root mean square in altimetry between the digital elevation model generated without geodesic infrastructure and the other one generated with ground control, it was 22,100 m, a result that clearly shows the need to use ground control points to generate a digital elevation model with the unmanned aerial vehicle that meets the exactitude in its elevations. The use of geodetic infrastructure enhances the use of unmanned aerial vehicles in their different applications, allowing the generation of accurate cartographic products that facilitate the development of other disciplines that require georeferenced information, such as geology, geophysics, ecology, biology, Hydrology, among others.

Palabras clave. Geomática, Fotogrametría, Control terrestre, Vehículos aéreos no tripulados.

## INTRODUCCIÓN

La obtención de datos geospaciales ha sido fundamental en el proceso de evolución de la Geodesia como ciencia, a su vez, ha permitido el desarrollo de otros campos que requieren de información georreferenciada para lograr sus objetivos. Por esta razón, la georreferenciación siempre ha sido una constante necesidad del ser humano, así que para dar respuesta a este requerimiento se han desarrollado distintas tecnologías a lo largo del tiempo para hacer este proceso más eficiente. Este desarrollo ha permitido el surgimiento de las que actualmente se consideran tecnologías emergentes, las cuales muestran su versatilidad en la reducción de los tiempos e inversión necesaria para ejecutar los trabajos de campo.

Los métodos clásicos de recopilación topográfica se caracterizan por realizar la captura puntual de información geoespacial, siendo esta obtenida directamente en campo y estando siempre relacionada a un Datum y a un Sistema de Referencia materializado sobre la superficie, permitiendo que se pueda validar la confiabilidad de los datos y por ende de la información generada.

La materialización de un Sistema de Referencia por lo general es conocida con el término de infraestructura geodésica, conformado por un conjunto de vértices georreferenciados de manera exacta que pueden guardar relaciones geométricas entre sí. La infraestructura geodésica ha representado la principal herramienta para la ejecución de labores de adquisición de datos geospaciales, y en la actualidad cuenta con un gran peso a la hora de garantizar la generación y validación de productos geospaciales de calidad.

Teniendo en cuenta la importancia de los métodos clásicos de recopilación de información topográfica, este trabajo tiene como objeto evaluar el requerimiento de la infraestructura geodésica necesaria para validar productos geospaciales orientados a la actualización cartográfica. Para lograr esto, se recopilará la información básica necesaria, se trabajará con zonas pilotos con información existente y se ejecutará el vuelo de un vehículo aéreo no tripulado, gestionando desde la planificación del vuelo hasta la validación de los productos.

## METODOLOGÍA

El proyecto de investigación fue desarrollado dentro de los espacios de la Ciudad Universitaria de Caracas cubriendo un área de 67,4 Ha. El objetivo planteado es generar productos geospaciales utilizando drones de alta gama y evaluar el impacto de la cantidad y distribución de los puntos de control terrestre, teniendo en consideración la normativa de la ASPRS 2014.

La Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), planificada por Carlos Raúl Villanueva y un equipo de colaboradores, se comenzó a construir a principio de la década de los cuarenta en los terrenos de la histórica Hacienda Ibarra. Está emplazada a 870 metros sobre el nivel del mar, con un área de construcción que alcanza poco más de 164 hectáreas. Este conjunto autónomo aparece enclavado en lo que es hoy el nuevo centro urbano de la ciudad de Caracas, rodeado por las principales arterias viales y la serranía del Jardín Botánico.

La Ciudad Universitaria de Caracas presenta numerosos vértices geodésicos y puntos topográficos dentro del campus universitario, lo que hace factible el establecimiento de una zona geodésicamente controlada para garantizar la fiabilidad de la investigación.

La CUC cuenta con planos topográficos elaborados por fotogrametría aérea a mediados del siglo pasado, sin contar a la fecha con planos actualizados elaborados por el mismo método, en razón de ello, se justifica la necesidad de generar productos geospaciales con vehículos aéreos no tripulados evaluando la cantidad y distribución óptima de los puntos de control terrestre en la CUC. Para el cumplimiento de tal objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar las tecnologías geospaciales emergentes en cuanto a normas, parámetros estándares y especificaciones técnicas.
2. Establecer el Sistema de Referencia Geodésico para la evaluación.
3. Diseñar una metodología para la validación de nuevas tecnologías empleando la infraestructura geodésica.
4. Generar productos geospaciales empleando vehículos aéreos no tripulados.

### 2.1. Análisis de Normas y Parámetros Estándares

Se decidió revisar la información a disposición en cuanto a normativas y especificaciones técnicas para tecnologías geospaciales. En este sentido, se determinó que la normativa de mayor relevancia para productos generados empleando métodos fotogramétricos es la dictada por la ASPRS en el año 2014, ya que toma en cuenta los recientes avances en la fotogrametría y se encuentra orientada a la validación de los productos en base a la resolución de estos. Estas sustituyen a las emitidas por la ASPRS en el año 1990, a las “ASPRS Guidelines” y a “Vertical Accuracy for LIDAR (2004)”; siendo actualizadas por la necesidad de adaptarse a la nueva realidad en el mundo de la fotogrametría, que apunta al uso de VANT y fotogrametría digital para generar productos cartográficos. Sin embargo, no incluye la evaluación robusta de densidad y distribución de puntos de chequeo ni las metodologías alternas a la interpolación TIN para tres dimensiones. La confiabilidad de los productos debe ser evaluada tomando como indicador principal el RMS, tanto en sus coordenadas X, Y y Z al momento de contrastar las coordenadas medidas en campo de los puntos de chequeo con las coordenadas de los mismos puntos medidos sobre los productos cartográficos. Es importante destacar que de igual forma se deben calcular tanto el error medio como la desviación estándar, teniendo a estos como indicadores estadísticos de relevancia para el estudio de la bondad de las ortofotos y

MDE.

## 2.2. Selección del Sistema de Referencia

En esta fase de la investigación se realizó la selección del sistema de referencia pertinente para la evaluación, tomando en consideración los equipos, softwares y procedimientos realizados. En primer lugar, el vehículo utilizado para realizar el vuelo y adquisición de las fotografías (VANT) cuenta internamente con un GPS navegador, el cual realiza mediciones con respecto al elipsoide WGS84, por lo tanto las coordenadas del centro de cada fotografía son coordenadas geodésicas (Latitud, Longitud y Altura elipsoidal). En este orden de ideas, el GPS utilizado para realizar la medición de los puntos de control terrestre también se encuentra referido al elipsoide WGS84 y las coordenadas resultantes también son coordenadas geodésicas. Por esta razón se decidió seleccionar este sistema de referencia geodésico (coordenadas geodésicas referidas al elipsoide WGS84) para realizar el procesamiento de las fotografías con el software PhotoScan.

Por otra parte para realizar las comparaciones y evaluaciones de los productos generados se decidió trabajar en un sistema de proyección plano, principalmente para realizar las evaluaciones planimétricas de las ortofotos, por tal motivo se seleccionó el sistema UTM, hemisferio norte, zona 19 (72°W – 66°W), meridiano central 69, con datum WGS84. El software seleccionado para realizar las evaluaciones fue el Global Mapper v16.1, puesto que admite una amplia gama de formatos para manejo de datos geoespaciales, y a su vez cuenta con una librería de sistemas de referencias globales amplia, por estas razones fue con este software con el que se realizaron las transformaciones de coordenadas y reproyecciones de las ortofotos y MDT, para así evitar desmejorar la precisión y exactitud en los resultados al usar otros programas diferentes.

### Planificación del Vuelo

A continuación, se detalla en forma cronológica los procedimientos realizados para la planificación del vuelo:

- En primer lugar se definió el equipo a emplear, este fue el Phantom 4. Ver Figura 1.
- Posteriormente se estableció el área aproximada a levantar como puede observarse en la Figura 2, en este sentido, se decidió abarcar un área de 57,8 Ha aproximadamente, delimitada al Este por los Estadios Olímpico y Universitario, al Oeste por Sierra Maestra, al Sur por el Edificio de Ingeniería Metalúrgica, y al Norte por el Jardín Botánico.
- Definido el equipo a emplear y conocidas sus especificaciones se procedió a establecer los parámetros del vuelo, tales como: altura de vuelo, huella de la fotografía, resolución del píxel, solape, traslape, área aproximada de cobertura, número de fotos, tiempo aproximado de procesamiento, entre otros.
- En primer lugar se estableció una altura de vuelo de 100 metros sobre el suelo, esta distancia se determinó en base a experiencias previas de vuelos con VANT en la CUC. Esta altura garantiza que no se colisione con edificios altos dentro del campus universitario, además, la huella de la fotografía a esta distancia del suelo garantiza un volumen de fotografías manejable para la memoria interna del VANT y para su posterior procesamiento.
- Para la definición del GSD se debió determinar tanto el valor de la distancia focal teórica de la cámara instalada en el VANT como el tamaño del sensor que permite registrar las fotografías. El tamaño del GSD se calculó en 4.32 cm/píxel teniendo un ancho de la huella de la fotografía de 172.85x129.64 m.
- Posteriormente se determinó el valor del solape y del traslape, siendo de 80% y 60% respectivamente. Estos valores fueron establecidos de manera tal que permitieran tener la mayor cantidad de información redundante para generar el MDE sin que esto significase un exceso de información que hiciera imposible el procesamiento de las imágenes posterior al vuelo.
- Se utilizó el software Map Pilot para la planificación y ejecución del vuelo del Drone, puesto que este permite definir la zona de vuelo y establecer el sentido de las franjas, el solape, traslape y altura de vuelo, arrojando la cantidad de fotografías estimadas, la velocidad promedio de vuelo y la cantidad de baterías a utilizar.

## 2.3. Selección y Ubicación de los GCP

Para el proceso de selección y ubicación de puntos de control se revisaron diversas referencias relacionadas

a la planificación del control terrestre en los vuelos fotogramétricos. Unas de las bases teóricas consultadas fueron las especificaciones técnicas del IGN de Perú y las emitidas por la ASPRS en el año 2014, en ellas se sugieren cuáles deben ser las consideraciones técnicas a tener en cuenta para el establecimiento del control terrestre. Uno de los criterios más importantes fue el de la ubicación de puntos de control en las zonas límites de captura de fotografías, esto con el fin de garantizar el mejor ajuste del modelo.

A su vez también se tomó en cuenta la homogeneidad en la disposición de los puntos teniendo en consideración los criterios para el establecimiento de las redes geodésicas con GPS. Se empleó la cartografía base y demás información geodésica recopilada en fases iniciales de la investigación para analizar la configuración y cobertura del modelo a generar luego del procesamiento de las fotos.

n total se seleccionaron 18 puntos de control a lo largo de la CUC, ubicados como se mencionó previamente lo más homogéneamente posible (ver Figura 3). Se tomaron puntos de la red geodésica existente en la UCV, así como otros vértices medidos para trabajos de la cátedra Geodesia IV y Trabajos Especiales de Grado. De la misma manera se monumentaron nuevos puntos en la zona del Hospital Clínico Universitario y sus adyacencias, adicionalmente también se midieron puntos en zonas fácilmente reconocibles en las fotografías destacando las canchas ubicadas a lo largo de la Ciudad Universitaria.

#### **2.4. Medición de puntos de control terrestre**

Se realizaron dos jornadas de medición empleando equipos GPS facilitados por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCV.

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para realizar la medición:

Determinación de precisión del levantamiento: conocido el valor del GSD teórico y en base a las especificaciones de la ASPRS del 2014 que establecen que el control terrestre debe tener un RMSE de un cuarto del RMSE del producto a generar tanto en las coordenadas X, Y y Z para planialtimetría; se estableció el RMSE máximo para los puntos de control terrestre en 7,5 cm.

Selección de equipos y técnicas de medición: los equipos de medición a disposición fueron dos (2) GPS Promark 3, de 1 frecuencia (L1), facilitados por el DIGA. Estos equipos presentan precisiones de acuerdo al fabricante de: 5 milímetros + 1ppm en horizontal y 10 milímetros +2ppm en Vertical en modo de medición Estático Rápido. Se establecieron los tiempos de medición entre 15 a 20 minutos en cada vértice, recordando que la distancia promedio hasta el punto base REMOS Caracas 1 es de 3,8 km aproximadamente.

En cuanto al método de medición seleccionado fue el de levantamiento radial, a fin de poder utilizar este método para medir una red, es necesario contar, por lo menos, con dos estaciones de referencia y utilizar un móvil para ocupar los puntos a medir (estableciendo un mínimo de tres equipos).

Procesamiento de la data GPS: el procesamiento de la data GPS se realizó con el software GNSS Solutions v.3.80.8.

#### **2.5. Procesamiento Digital de Imágenes**

Se utilizó el software fotogramétrico PhotoScan v.1.2.5 de la compañía Agisoft. En la página del fabricante se pueden descargar manuales acerca de cómo realizar diversos procesamientos con imágenes, con o sin puntos de control terrestre. Se decidió realizar distintos procesamientos de las imágenes tomadas con el VANT empleando 10 combinaciones distintas de los puntos de control terrestre medidos, esto para cuantificar el efecto que tiene la ubicación de los puntos de control en la calidad del producto.

Estas combinaciones fueron establecidas basándose en lo investigado por los profesores Ackermann y Ebner, quienes evaluaron la distribución de puntos de control en base a la cantidad de modelos y franjas del bloque fotogramétrico. Ellos determinaron que los mayores errores se encuentran teóricamente en los bordes de los bloques fotogramétricos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

288 fotografías capturadas con una altura media de vuelo de 102 m sobre la superficie del terreno, obteniendo una superficie cubierta de 674000 m<sup>2</sup>.

- Se determinó que las distribuciones de GCP que no cuentan con la presencia de al menos un punto de control en el centro del bloque fotogramétrico no presentaron mejoras significativas en las exactitudes de los productos generados, esta afirmación se ve sustentada en el hecho de que el RMS obtenido al emplear 4 y 10 GCP es muy similar (1,147 m y 1,029 m respectivamente), y sólo se aprecia una mejora en los valores del RMS obtenido al emplazar un punto de control terrestre en el centro del modelo. Ver Tabla 1 y Figura 4.
- Ortofoto generada con un RMSE total de 0.586 m, clasificada en la clase 50-cm según la ASPRS 2014. Ver Tabla 2.
- MDE generado con un RMSE en cota de 0.378 m, clasificado en la clase 40-cm según la ASPRS 2014. Ver Tabla 3 y Figura 5.
- MDS generado con una resolución de 7.6 cm/pix. Ver Figura 6.
- Ortofotoplano de la CUC generado a escala 1:1500. Ver Figura 7.

## TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES



Figura 1: Phantom 4 del fabricante DJI. Fuente: [www.dji.com](http://www.dji.com)



Figura 2: Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia 2016.



Figura 3: Puntos de Control Terrestre establecidos. Fuente: Elaboración propia 2016.

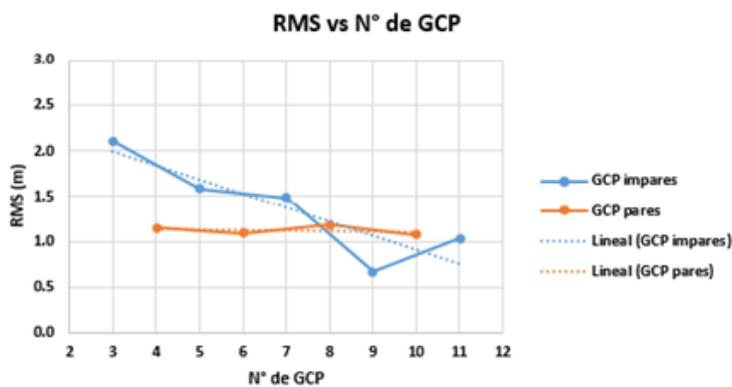


Figura 4: Gráfico de RMS calculado en las validaciones de las distintas ortofotos generadas con distintos números de puntos de control terrestre empleados. Fuente: Elaboración propia 2016.

	ESTE	NORTE	TOTAL
<b>ERROR MEDIO (m)</b>	0.030	0.141	0.418
<b>RMSE (m)</b>	0.319	0.492	0.586
<b>DESV EST (m)</b>	0.327	0.485	0.423

Tabla 1: Indicadores estadísticos obtenidos en la validación planimétrica de la ortofoto generada con GCP. Fuente: elaboración propia.

	TOLERANCIA	OBTENIDO EN VALIDACIÓN
<b>RMSE<sub>x</sub> (cm)</b>	50	31,9
<b>RMSE<sub>y</sub> (cm)</b>	50	49,2
<b>RMSE<sub>r</sub> (cm)</b>	70,7	58,6

Tabla 2: Tolerancias en RMSE<sub>x</sub>, RMSE<sub>y</sub> y RMSE total para clase 50-cm. Fuente: Elaboración propia.

<b>ERROR MEDIO (m)</b>	-0.178
<b>RMSEz (m)</b>	0.378
<b>DESV EST (m)</b>	0.344

Tabla 3. Indicadores estadísticos obtenidos en la validación altimétrica del MDE del VANT. Fuente: elaboración propia.

Figura 5: Modelo Digital de Elevación con resolución de 7.6 cm/pixel. Fuente: Elaboración propia 2016.

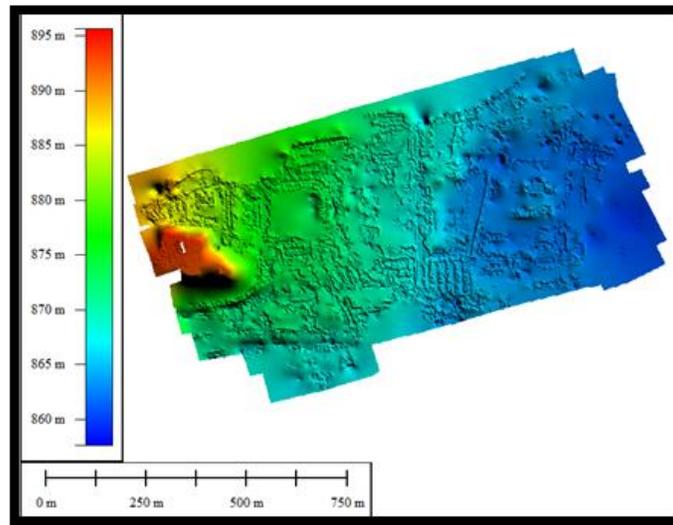


Figura 6: Modelo Digital de Superficie con resolución de 7.6 cm/pixel. Fuente: Elaboración propia 2016.

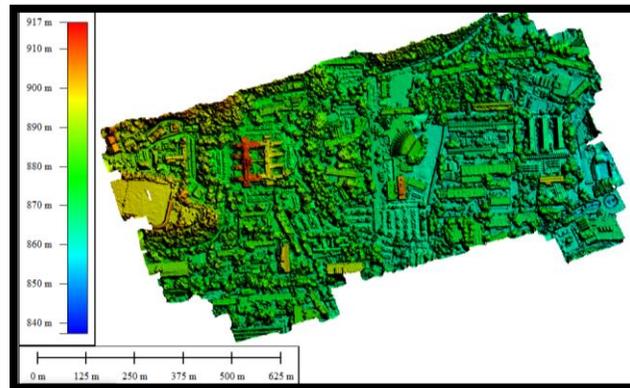
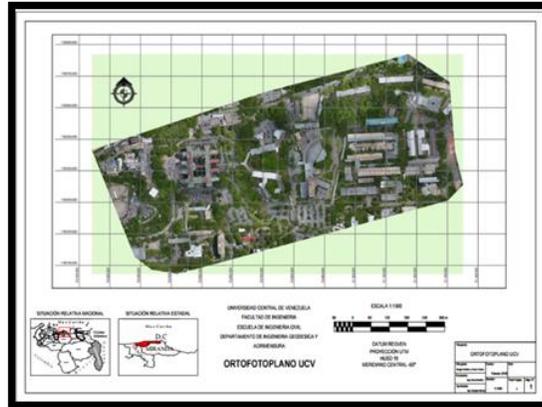


Figura 7: Ortofotoplano de la CUC a escala 1:1500. Fuente: Elaboración propia 2016.



## CONCLUSIONES

Los análisis sobre la información generada en los apartados anteriores y las comparaciones realizadas entre los distintos productos han permitido determinar el potenciamiento de estas tecnologías geoespaciales con el uso de una infraestructura geodésica robusta, de acuerdo a ello se llegó a las siguientes conclusiones:

- La infraestructura geodésica resulta de gran importancia para la generación y validación de productos geoespaciales de calidad, y esta afirmación se ve sustentada en el hecho de que los productos evaluados mejoraron sus precisiones al emplear control terrestre.
- La ubicación, distribución y calidad de los puntos de control terrestre es un factor determinante en el procesamiento y generación de los productos geoespaciales cartográficos. Se llegó a la conclusión de que se necesitan 9 puntos de control terrestre como patrón, ubicándolos en zonas despejadas y distribuyéndolos alrededor de la zona de estudio, específicamente ubicando un punto en cada esquina del bloque, uno en cada centro de los lados externos y un punto en el centro del modelo, sin embargo, la cantidad de GCP puede aumentar principalmente debido a la morfología del terreno de la zona de estudio.
- Para generar el MDE en zonas donde hay vegetación, estructuras, vehículos, entre otros elementos que no corresponden al terreno es necesario realizar una clasificación rigurosa de estos en el programa escogido para el procesamiento digital de imágenes. En zonas donde exista mayor visibilidad de estos elementos que del propio terreno es necesario evaluar que tan real y representativo es el MDE generado.
- Luego de analizar las distintas distribuciones de puntos de control terrestre se concluye que se debe dividir el área de estudio en sectores, de acuerdo a la morfología, a la vegetación y a los elementos antrópicos, para no dejar desprovista ninguna zona de vértices de control o validación, y poder tener valores representativos de toda la zona.
- El proceso de validación de los productos resulta de gran importancia, ya que es el que garantiza

la bondad y confiabilidad de los mismos. Emplear una correcta distribución de puntos de chequeo garantiza una evaluación adecuada de los productos finales. Por esta razón, los puntos de verificación altimétricos deben estar emplazados en zonas desprovistas en lo posible de vegetación y edificios en sus alrededores.

## REFERENCIAS

La cita se hace empleando números arábigos entre corchetes al final de la idea

- [1] ASPRS (2014). ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. Estados Unidos. Extraído el 6 de marzo de 2016 de [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/ASPRS\\_Positional\\_Accuracy\\_Standards\\_Edition1\\_Version100\\_November2014.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November2014.pdf).
- [2] Barry, P., Coakley, R (2013). Accuracy of UAV Photogrammetry compared with network RTK GPS. Irlanda. Extraído el 5 de Agosto de 2016 de [http://www.castral.com/media/uploads/file/Bramor%20Accuracy%20compare\\_RTK\\_GPS.pdf](http://www.castral.com/media/uploads/file/Bramor%20Accuracy%20compare_RTK_GPS.pdf)
- [3] Cedeño A., Oropeza E. (2014). Comparación de la data topográfica con la data Lidar de la quebrada Tacagua para el modelaje de la prolongación de la avenida Boyacá de Caracas (Distrito Capital). (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [4] Daruiz A. (2014). Evaluación de los modelos gravimétricos del satélite Grace a partir de datos de mediciones terrestres de gravedad y generación de modelos ajustados para Venezuela. (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [5] González S. (2015). Metodología para validar datos geoespaciales adquiridos con vehículos aéreos no tripulados. (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [6] Infante A. (2015). Aplicación de la metodología gns ntrip a levantamientos topográficos con fines catastrales. (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [7] Poesová, J (2015). Measurement and spatial model creation of the inner part of the Helfenburk Castle near Ustek. (Trabajo de maestría). Universidad de Praga. República Checa.