



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA GENERACION DE PRODUCTOS
TOPOGRAFICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA RPA Y RTK**

**GONZALO SOLANO FAJARDO
JONATHAN ALEXANDER SANCHEZ LOZANO**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
MANIZALES**

2017

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA GENERACION DE PRODUCTOS
TOPOGRAFICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA RPA Y RTK**

**GONZALO SOLANO FAJARDO
JONATHAN ALEXANDER SANCHEZ LOZANO**

**Proyecto presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en
Sistemas de Información Geográfica**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Manizales, Fecha

Tabla de contenido

RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	3
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo General	6
2.2. Objetivos Específicos.....	6
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1 Fotogrametría	8
4.1.1. Definiciones.	8
4.1.2. Clasificación de la fotogrametría.	9
4.1.3. Método general de la fotogrametría.	10
4.1.4. Fotogrametría actual.....	11
4.1.4.1.....	11
4.2 Métodos y aplicaciones de posicionamiento GPS	12
4.2.1 Método estatico relativo estándar.....	14

4.2.2 Real Time Kinematic (Rtk)- Gps (En Tiempo Real).	15
4.3. UAS, RPAS, UAV	17
4.3.1. UAS (Unmanned Aerial System).	17
4.3.2. RPA (Remotely Piloted Aircraft).	18
4.3.3. RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).	18
4.4. ANTECEDENTES.	20
5. METODOLOGÍA	27
5.1. Trabajo de campo con RTK	27
5.1.1. Altura elipsoidal.	30
5.1.2. Altura ortométrica.	30
5.1.3. Ondulación del geoide.	31
5.1.4. Modelo Geoidal.	31
5.2. Especificaciones del RPA	31
5.3 Especificaciones de la camara.	32
5.4. Trabajo de campo con RPA	33
5.5 Trabajo en oficina.	36
6. RESULTADOS.	40
6.1. Información tomada con el sistema RTK.	40

6.2. Información tomada con el sistema RPA.....	40
6.3 Comparación Puntos RTK contra puntos RPAS (Modelo de Predicción - Kriging).....	41
6.4 Comparación Puntos RTK contra puntos RPAS (Modelo de Predicción - Kriging) Optimizado.....	41
6.5 Generacion MDT (Modelo Digital del terreno).....	41
6.5.1 Modelo Digital del Terreno con Información RTK	41
6.5.2 MDT con Información RPAS	42
6.6 Generación de Curvas de Nivel.....	43
6.6.1 Curvas de Nivel Generadas con Información RTK	43
6.6.2 Curvas de Nivel Generadas con Información RPAS	43
6.7 Generación de Perfiles de Terreno.....	44
7. DISCUSIONES.....	47
8. ANEXOS	49
Anexo A. Coordenadas Obtenidas con Sistema RTK.....	49
Anexo B Comparación sin optimizar.....	55
Anexo C Comparación nube Rpa – Kriging Optimizado	61
CONCLUSIONES	67

RECOMENDACIONES 69

BIBLIOGRAFÍA..... 70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas Obtenidas para Puntos Base.....	29
Tabla 2 Cámara del RPA Utilizado	32
Tabla 3 Información del Vuelo con RPA Predio El Manantial.	35
Tabla 4 Puntos de Control.....	38

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Clasificación de la fotogrametría. (Facultad de Ingeniería, s.f.).....	9
<i>Figura 2.</i> Proyección del punto “p” sobre la Fotografía. (Nordeste, s.f.).....	10
<i>Figura 3</i> Equipo GPS (Trimble). Elaboración Propia	15
<i>Figura 4.</i> Ejemplo de Aeronave Piloteada a Distancia. (Na.ssl-Images-Amazon, s.f.).....	19
<i>Figura 5.</i> Ebee RTK de SenseFly con GPS de precisión incluido (Sensefly, s.f.).....	20
<i>Figura 6.</i> Panorámica predio “El Manantial”. (Elaboración Propia).....	27
<i>Figura 7.</i> Coordenadas Punto VIVI. (IGAC, s.f.)	28
<i>Figura 8.</i> Altura Orthométrica Fuente: (Nordeste, s.f.).....	30
<i>Figura 9.</i> Sistema RPA Mavic Pro. (Na.ssl-Images-Amazon, s.f.).....	33
<i>Figura 10.</i> Selección de Traslape entre Fotografías. (Elaboración Propia Aplicación Altizure)..	34
<i>Figura 11.</i> Selección de Altura de Vuelo. (Elaboración Propia Software Aplicación Altizure)..	35
<i>Figura 12.</i> Selección del Tipo de Cámara. (Elaboración Propia Aplicación Altizure)	35
<i>Figura 13.</i> Alineamiento de Fotografías. (Elaboración Propia Software PhotoScan).....	36
<i>Figura 14.</i> Construcción de Puntos y Malla. (Elaboración Propia Software PhotoScan)	37
<i>Figura 15.</i> Identificación de Puntos de Control. (Elaboración Propia)	38
<i>Figura 16.</i> Nube de puntos densa. (Elaboración Propia Software PhotoScan)	39
<i>Figura 17.</i> Nube de puntos con RPA (Elaboración propia).....	40
<i>Figura 18.</i> MDT Información RTK. (Elaboración propia).....	42
<i>Figura 19.</i> MDT Información RPAS. (Elaboración propia).....	42
<i>Figura 20.</i> Curvas de Nivel con información RTK.	43
<i>Figura 21.</i> Curvas de Nivel con información RTK.	44

<i>Figura 22.</i> Generación Perfil de Terreno (Arcgis) con Información RTK.....	44
<i>Figura 23.</i> Perfil de Terreno con Información RTK. (Elaboración Propia).	45
<i>Figura 24.</i> Interpolación Línea de Perfil RPAS. (Elaboración Propia).....	45
<i>Figura 25.</i> Generación Perfil de Terreno (Arcgis) con Información RPAS. (Elaboración Propia).	46
<i>Figura 26.</i> Perfil de Terreno con Información RPAS. (Elaboración propia).	46
<i>Figura 27.</i> Comparación MDT con RTK y MDT con RPAS. (Elaboración propia).	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Coordenadas Obtenidas con Sistema RTK.	49
Anexo B Comparación sin optimizar.....	55
Anexo C Comparación nube Rpa – Kriging Optimizado	61

RESUMEN

Este proyecto se realizó con el objeto de establecer una comparación de resultados obtenidos a través de la toma de información con equipos RTK y RPA, para determinar la calidad y confiabilidad de la información al generar productos cartográficos sobre los cuales es factible desarrollar proyectos de diferente orden enfocados a sistemas de información geográfica o que estén relacionados con información de control horizontal como vertical.

La información capturada con el sistema GPS RTK proporciona una muy buena precisión siendo esta, el punto de partida para poder establecer al comparación con equipos RPA, ya que los datos generados por un equipo que posea sistema de posicionamiento global, poseen un margen de error tanto por las características de fabricación, como por la restricción que trae la misma información con la que se ubica espacialmente el equipo.

Para generar productos cartográficos, es necesario realizar correcciones a la información cruda con la ayuda de software y aplicaciones especializadas trabajo que se realiza posterior a la toma de la información. Así se pudo establecer que la información tomada mediante equipos RPA luego de un posproceso nos puede asegurar datos confiables en X y Y, aplicables a proyectos relacionados con información geográfica.

SUMMARY

This project was carried out with the objective of establishing a comparison of results obtained through the acquisition of information with RTK and RPA equipment to determine the quality and reliability of the information when generating cartographic products on which it is feasible to develop projects of different order focused on geographic information systems or related to horizontal or vertical control information.

The information captured with the GPS RTK system provides a very good precision, being this the starting point to be able to establish the comparison with RPA equipment, since the data generated by a computer that has a global positioning system, have a margin of error both by the manufacturing characteristics, as by the restriction that brings the same information with which the equipment is located spatially.

In order to generate cartographic products, it is necessary to make corrections to the raw information with the help of specialized software and applications work that is carried out subsequent to the taking of the information. Thus it was possible to establish that the information taken by RPA equipment after a post-process can assure us reliable data in X and Y, applicable to projects related to geographic information.

1. Área Problemática

A través del tiempo el hombre ha perfeccionado la forma de representación del mundo, ha querido representar su entorno de manera gráfica para poder entenderlo de una mejor forma.

En este aspecto, la Topografía es una de las herramientas más utilizadas por el hombre para realizar la representación del mundo real en forma análoga o digital es por esto que la topografía se toma como punto de partida en una gran cantidad de proyectos como lo son los diseños de vías, acueductos, alcantarillados, catastral y además para la ejecución y control de estos mismos proyectos, por esta razón la importancia de contar con la calidad necesaria en los datos topográficos. “La Topografía es el arte de medir distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos de la superficie terrestre, medir ángulos entre líneas terrestres y establecer puntos por medio de distancias y ángulos previamente determinados” (Torres & Villate, 1968).

Actualmente por la necesidad de cumplir con el insumo topográfico y dada la creciente demanda de proyectos según su complejidad sus costos y a su envergadura, muchos se enfocan en ser desarrollados con topografía convencional la cual se realiza directamente sobre el terreno con equipos de topografía ópticos¹ mecánicos y electrónicos o ambos, y algunos que reciben información GNSS² los cuales son manipulados en campo por un operario conocedor del tema.

1 Estación Total, teodolito y nivel.

2 GNSS Sistema de Posicionamiento Global.

Con los desarrollos tecnológicos se pasó de fotografías aéreas tomadas desde aviones (tripulados) con cámaras convencionales a imágenes tomadas desde UAV³ y RPAS⁴ con cámaras digitales y tecnología GPS. Aunque el principio sobre el cual se basa el trabajo es el mismo, haciendo referencia a la planeación de vuelo, diseño de las líneas, toma de fotografías y corrección de la información adquirida, actualmente este proceso se ha facilitado siendo un software la herramienta que permite realizar la planeación del trabajo desde la oficina, se carga la información al UAV y éste realiza el trabajo de campo únicamente con la guía del operador, para posteriormente realizar las correcciones y obtener el resultado final que es la imagen que servirá para la generación curvas de nivel , DEM⁵ y otros tipos de análisis.

Específicamente, al obtener información con equipos RPAS, con un UAV y con método convencional de topografía sobre la misma área de trabajo y realizar un comparativo teniendo como base la información tomada con método convencional pueden evidenciarse las diferencias o similitudes entre los diversos métodos.

Sin embargo es necesario establecer bases sólidas e información real para demostrar que aunque los equipos RPAS sirven para la toma de información de buena calidad en la medición y generación de datos para posterior uso en topografía, esta no es confiable si se requiere realizar trabajos posteriores que impliquen su utilización para obras civiles o de infraestructura.

Finalmente, debido a que se está difundiendo en el mercado la utilización indiscriminada de estos equipos (RPAS), y en ocasiones hasta irresponsable, el cliente no recibe una información

3 Vehículo Aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle).

4 Aeronave no tripulada operada con control remoto (Remotely Piloted Aircraft).

5 Modelo digital del terreno (Digital Elevation Model).

confiable lo que puede ocasionar que se generen costos adicionales o trabajos innecesarios que no van a tener la calidad requerida, se plantea este análisis con el fin de que tanto quien presta el servicio como el cliente potencial, escoja el equipo y metodología que mejor se acomode a la necesidad del proyecto.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Realizar un análisis comparativo para la obtención de información topográfica, creación de modelos digitales de terreno y producción de cartografía mediante un levantamiento por el método convencional y con fotografías aéreas generadas por un RPA.

2.2. Objetivos Específicos

Con el equipo Trimble R6 GNSS (RTK), levantar convencionalmente la zona de estudio con área aproximada de 1 ha.

Efectuar la captura de las fotografías aéreas mediante el sistema RPA.

Efectuar el procesamiento de los datos adquiridos y realizar la producción de la información topográfica, los modelos digitales de terreno y las salidas cartográficas de la zona para cada uno de los procesos.

Realizar la comparación entre los datos topográficos obtenidos y sus diferencias en X, Y, Z, determinando que tan asertivos son los modelos digitales de terreno, revisar la calidad de la ortofoto para la generación de cartografía y analizar la información obtenida.

3. Justificación

Para la toma de información aérea actualmente se encuentran en el mercado equipos desde los más básicos y económicos hasta los más sofisticados y costosos, dependiendo de la necesidad de la información que se requiera, del trabajo sobre el cual va a ser utilizado y del presupuesto con el que se cuente a la hora de contratar su realización.

Con base en esto se ha evidenciado que equipos RPA de gama baja están siendo utilizados para realizar trabajos de topografía con costos más económicos para el cliente, lo que se quiere lograr con la comparación de resultados es saber si esta información es confiable y si se puede utilizar con tranquilidad como insumo en nuestros sistemas de información geográfica.

4. Marco Teórico

Para establecer la base de este análisis es necesario primero establecer los fundamentos que nos servirán como referencia para el buen entendimiento de la metodología y del análisis de los resultados.

4.1 Fotogrametría

4.1.1. Definiciones.

Según La American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1979), la fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas. Según la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1979), la fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas del objeto fotografiado.

La fotogrametría es la técnica para estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando medidas realizadas sobre una o varias fotografías (Bonneval H., 1972). Al interpretar estas definiciones resaltamos el carácter científico y cuantitativo de la fotogrametría, en clara asociación con las dimensiones, forma y posición espacial de los objetos fotografiados.

4.1.2. Clasificación de la fotogrametría.



Figura 1. Clasificación de la fotogrametría. (Facultad de Ingeniería, s.f.)

a) “Fotogrametría Terrestre: tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.

b) Fotogrametría Aérea: es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (avión).

c) Fotogrametría analógica: se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado la confección de mapas, con información plani-altimétrica, se realizaba con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio.

d) Fotogrametría analítica: con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD.

e) Fotogrametría digital: finalmente el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y los programas ó software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.” (Nordeste, s.f.), p.2-3

4.1.3. Método general de la fotogrametría.

“El estudio de la fotogrametría surge, como sabemos, por la necesidad de obtener información en tres dimensiones a partir de información en dos dimensiones; es decir, se desea conocer el tamaño, las dimensiones y la posición espacial de los objetos. El método o fundamento de la fotogrametría se basa en la obtención de dos fotografías aéreas verticales sucesivas, que toman un punto común del terreno y a partir de la restitución de los haces de proyección (restitución por aberraciones del objetivo, distorsiones generadas por deformaciones de la película o negativo, distorsiones atmosféricas y otras distorsiones por desviación de la vertical) es posible obtener las coordenadas del punto en ambas fotografías a partir de un eje de referencia relativo y de esta manera obtener semejanzas geométricas entre las dos imágenes.” (Nordeste, s.f.) En la figura se presenta la proyección del punto “p” sobre una fotografía aérea.

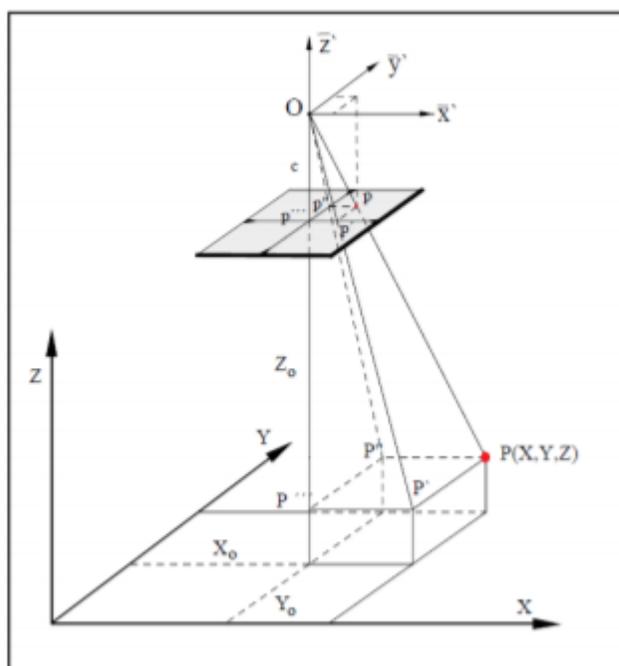


Figura 2. Proyección del punto “p” sobre la Fotografía. (Nordeste, s.f.)

Obsérvese que el punto P (x,y,z) ubicado en el terreno es proyectado a la fotografía. Obedece al caso general en donde coinciden, en la vertical, el centro de la fotografía y el centro del terreno fotografiado ó nadir. (Facultad de Ingeniería, s.f.)

4.1.4. Fotogrametría actual.

4.1.4.1. Apoyo Terrestre.

Para la ejecución de planos por medios fotogramétricos es imprescindible a apoyo terrestre, con él cotejamos las características geométricas del terreno con las observadas en las fotografías.

Se define como el conjunto de trabajos de campo que se realiza con equipo topográfico de alta precisión con el fin de determinar la posición de puntos en el terreno cuyas imágenes aparecen en las fotografías aéreas correspondientes. Se puede decir que el apoyo terrestre se refiere a trabajos topográficos de alta calidad.

Esta labor en campo debe realizarse con una gran precisión y tener una buena identificación y visualización de los puntos medidos para una excelente calidad del plano, simplemente se establece que sin el apoyo terrestre no se lograría el proceso de restitución.

La posición de los puntos está determinada por las coordenadas X, Y, referida al sistema de ejes cartesianos y a un plano horizontal de comparación Z, teniéndose que determinar el control horizontal para la ubicación planimetría y el control vertical para las elevaciones.

Para orientar un modelo estereoscópico en restitución, es necesario contar con tres puntos de control horizontal y vertical y un cuarto punto de control, es decir, podemos tener como mínimo dos puntos de control horizontal y vertical y un tercero de control vertical únicamente, tal que podamos proyectar correctamente el apoyo terrestre.

4.2 Métodos y aplicaciones de posicionamiento GPS

Existen distintos criterios a la hora de clasificar los métodos de observación o posicionamiento GPS. Se pueden clasificar según distintos factores:

Según el Sistema de Referencia:

1. Absoluto Se calcula la posición de un punto utilizando las medidas de pseudodistancias por código (C/A, L2C o P) con un solo receptor. La precisión del método está en menos de 10 metros (función del código utilizado).

2. Relativo o Diferencial Es necesario observar al menos con dos equipos simultáneamente. Las mediciones se pueden hacer por código o por fase. Se determina la distancia o incremento de coordenadas entre las antenas de los receptores (diferencia de posición entre ellos). A este método se le suele denominar diferencial. La gran ventaja de este método radica en que los errores de posicionamiento, muy similares en ambos puntos, son eliminados en su mayor parte.

Según el Movimiento del Receptor:

1. Estático Se determina un único trío de coordenadas (X, Y, Z) directamente o (ΔX , ΔY , ΔZ) si el posicionamiento es diferencial, de una antena a partir de una serie de observaciones realizadas durante un periodo de tiempo en el que no se sufren desplazamientos superiores a la precisión del sistema. Existe redundancia en la observación.

2. Cinemático Se determina el conjunto de coordenadas (X, Y, Z) directamente o (ΔX , ΔY , ΔZ) si el posicionamiento es diferencial, en función del tiempo y la situación de la antena, la cual estará en movimientos superiores a la precisión del sistema. No hay redundancia en las coordenadas del punto determinado, por tanto, se obtiene sin redundancia las coordenadas de un punto a partir de una muestra única de datos o época.

Según el Observable Utilizado:

1. Medida de código Se determina a partir de pseudodistancias entre el satélite y el receptor mediante la utilización del código de la portadora. Se puede medir el código C/A (accesible para cualquier usuario) y L2C, o el código P (más preciso, pero normalmente encriptado).

2. Medida de fase de la portadora Se utiliza la fase de la portadora para realizar la medida de la pseudodistancia. Requiere trabajar en modo diferencial o relativo.

Según el Momento de la Obtención de Coordenadas:

Tiempo Real (Real Time – RT) Las coordenadas del receptor, móvil o estático, se obtienen en tiempo real, es decir, en el momento de la observación. La precisión es función del observable utilizado (código o fase) y del método utilizado, absoluto o relativo.

Postproceso Las coordenadas del receptor, móvil o estático, son obtenidas en postproceso, es decir, una vez finalizada la observación se calculan las posiciones en gabinete (lo que permite trabajar con efemérides más precisas). Este método se suele utilizar para posicionamiento estático relativo. En el caso de posicionamiento estático relativo con medida de fase se obtienen soluciones más precisas que en tiempo real.

A partir de la combinación de estos métodos puros surgirán los distintos métodos de observación propiamente dichos:

Estático Absoluto (pseudodistancias).

Cinemático Absoluto (pseudodistancias).

Estático Relativo (pseudodistancia y fase)

1. Estándar

2. Rápido

Cinemático relativo (pseudodistancia y fase)

1. Cinemático (postproceso).

2. RTK (fase, tiempo real, Real Time Kinematic).

3. RT-DGPS (código, Real Time Diferencial GPS)

A continuación se explican los principales métodos de posicionamiento GPS aplicados en este proyecto. Estos métodos utilizan la medida de fase para la determinación de la línea base entre el receptor fijo y el receptor móvil:

4.2.1 Método estático relativo estándar.

“Se trata del clásico posicionamiento para la medida de distancias con gran precisión (5mm + 1ppm) en el que dos o más receptores se estacionan y observan durante un periodo mínimo de media hora, una o dos (o más), según la redundancia y precisión necesarias, y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar. Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos. Este método es el empleado para medir distancias mayores de 20 kilómetros con toda precisión” (Farjas, s.f.).

Las aplicaciones de este método son:

- Redes geodésicas de cobertura a grandes áreas.
- Redes nacionales y continentales.
- Seguimientos de movimientos tectónicos.
- Redes de gran precisión.

En la siguiente figura se observa un equipo de GPS Trimble con sistema RTK.



Figura 3 Equipo GPS (Trimble). Elaboración Propia

4.2.2 Real Time Kinematic (Rtk)- Gps (En Tiempo Real).

“Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétricas (1 ó 2 cm + 1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o “rover”, es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER. Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente”. (Farjas, s.f.)

4.2.2.1. Técnica Rtk.

La técnica de posicionamiento RTK se basa en la solución de la portadora de las señales transmitidas por los sistemas globales de navegación por satélites GPS, Glonass y Galileo, este

último todavía en fase de implantación. Una estación de referencia provee correcciones instantáneas para estaciones móviles, lo que hace que con la precisión obtenida se llegue al nivel centimétrico.

La estación base retransmite la fase de la portadora que midió, y las unidades móviles comparan sus propias medidas de la fase con la recibida de la estación de referencia. Esto permite que las estaciones móviles calculen sus posiciones relativas con precisión milimétrica, al mismo tiempo en que sus posiciones relativas absolutas son relacionadas con las coordenadas de la estación base.

Esta técnica exige la disponibilidad de por lo menos una estación de referencia, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS y un módem de radiotransmisor. La estación genera y transmite las correcciones diferenciales para las estaciones, que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones.

El formato de las correcciones diferenciales es definido por la Radio Technical Committee for Maritime Service (RTCM). Los radiotransmisores operan en las fajas de frecuencia VHF/UHF, y la observación fundamental usada en el RTK es la medida de la fase de la portadora.

El empleo de las correcciones diferenciales hace que la influencia de los errores debidos a la distancia entre la estación base y la móvil se minimice. Esos errores se deben:

- Al reloj del satélite;
- A las efemérides;
- A la propagación de la señal en la atmósfera.

En el caso del uso del módem de radio, la técnica RTK se restringe a líneas de base cortas (hasta 10 km), debido al alcance limitado del UHF, y también porque la determinación de la

posición con esta técnica emplea apenas la solución de la portadora L1, aunque la portadora L2 esté presente para la resolución de las ambigüedades. (MundoGeo, 2000)

4.3. UAS, RPAS, UAV

Como muchos otros inventos de la humanidad, los vehículos aéreos no tripulados nacen de la guerra, como lo describen Asensio, Pérez y Morán (2008) en su trabajo “UAVs Beneficios & Límites”, donde narran los inicios de los UAV en 1849 con un ataque austriaco y su implementación en los recientes conflictos del Golfo pérsico y de Bosnia

Pero como muchos de estos inventos nacientes de la guerra, en cierto momento pasan a ser usados por el ciudadano del común; después del gran impulso que tuvieron los vehículos aéreos no tripulados gracias a la guerra, llegan a la actualidad con un nuevo aire, con los avances en la tecnología, la libertad en la aplicación de los GNSS y de software, se incrementa en forma significativa y se desprenden por así decirlo diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados. Debido al incremento en el uso de los vehículos aéreos no tripulados, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) imparte el decreto 328 de 2011 para la normalización y parámetros fundamentales internacionales para la implementación de estos vehículos en el espacio aéreo. De este documento se pueden extraer los conceptos y expresiones que pueden dar un mejor entendimiento al tema que estamos tratando, a continuación se extraerán los conceptos relevantes:

4.3.1. UAS (Unmanned Aerial System).

“Los UAS operarán con arreglo a las normas de la OACI que existen para aeronaves tripuladas así como toda norma especial y específica que encare las diferencias operacionales, jurídicas y de seguridad entre operaciones de aeronaves tripuladas y no tripuladas. Para integrar

los UAS en el espacio aéreo no segregado y en aeródromos no segregados, deberá haber un piloto responsable de la operación UAS. Los pilotos pueden utilizar equipo como el piloto automático para ayudar en la realización de sus funciones; no obstante, en ninguna circunstancia la responsabilidad del piloto podrá sustituirse por tecnologías en el futuro previsible”, (OACI, s.f.)

4.3.2. RPA (Remotely Piloted Aircraft).

“Para reflejar mejor la condición de estas aeronaves que son realmente pilotadas, se introduce en el vocabulario la expresión “aeronave pilotada a distancia” (RPA). Una RPA es una aeronave pilotada por un “piloto remoto”, titular de licencia, emplazado en una “estación de piloto remoto” ubicada fuera de la aeronave (es decir, en tierra, en barco, en otra aeronave, en el espacio) quien monitorea la aeronave en todo momento y puede responder a las instrucciones expedidas por el ATC, se comunica por enlace de voz o datos según corresponda al espacio aéreo o a la operación, y tiene responsabilidad directa de la conducción segura de la aeronave durante todo su vuelo. Una RPA puede poseer varios tipos de tecnología de piloto automático pero, en todo momento, el piloto remoto puede intervenir en la gestión del vuelo. Esto equivale a la capacidad del piloto de una aeronave tripulada volando en piloto automático de asumir rápidamente el control de la misma”. (OACI, s.f.)

4.3.3. RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).

El sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) comprende un conjunto de elementos configurables incluyendo una RPA, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces C2 y todo otro elemento del sistema que pueda necesitarse, en cualquier punto durante el vuelo. Otras características podrían comprender soporte lógico, vigilancia de la salud, equipo de

comunicaciones ATC, sistema de determinación de vuelo y elementos de lanzamiento y recuperación. (OACI, s.f.). A continuación se observa un ejemplo de RPA.



Figura 4. Ejemplo de Aeronave Piloteada a Distancia. (Na.ssl-Images-Amazon, s.f.)

En este documento también mencionan las aeronaves autónomas, que son aquellas capacitadas para hacer un trabajo de una forma completamente independiente, sin la necesidad de la intervención de un piloto, lo cual lo catalogan como un riesgo y no son introducidas en el estudio porque no son permitidas sin permisos especiales. La figura siguiente nos presenta un ejemplo de UAV.



Figura 5. Ebee RTK de SenseFly con GPS de precisión incluido (Sensefly, s.f.)

Terminología utilizada:

UAV: Vehículo aéreo no tripulado (término obsoleto)

UAS: Sistema(s) de aeronave(s) no tripulada(s)

RPA: Aeronave pilotada a distancia

RPAS: Sistema de aeronave pilotada a distancia

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional

RTK: Navegación cinética satelital en tiempo real GPS: Posicionamiento Global Por Satélite

4.4. ANTECEDENTES

La operación de los RPAS llegó al territorio nacional inicialmente con fines deportivos, y dada su versatilidad de manejo y campo de acción, poco a poco ha incursionado en el área de la cartografía y la topografía, es así como hoy en día, estos equipos están inundando el Mercado nacional proveyendo gran cantidad de marcas y modelos.

Lo primeros equipos denominados “RPAs” llegaron al país y fueron utilizados para desarrollar la toma de imágenes y la generación de modelos básicos de terreno, con el desarrollo

de los software estos resultados han mejorado hasta el punto de lograr obtener imágenes fotográficas con las cuales posteriormente se genera la cartografía del área de terreno en estudio.

Posterior a la llegada de los equipos de Ala fija “RPAs”, actualmente denominados (UAV), llegaron con fines deportivos y lúdicos, los “RPAs Cuadracópteros y Exacópteros”, denominados RPAS, y gracias a su desarrollo están convirtiéndose en una herramienta esencial en la generación de toma de información topográfica con fines comerciales.

En el área de la topografía, los avances de la tecnología van de la mano con la perfección en la precisión y el aumento de los rendimientos en la captura de información, en la actualidad, la topografía por ser un insumo primordial para los Sistemas De Información Geográfica y otros múltiples proyectos, ha creado la necesidad de producir datos topográficos de calidad y en el menor tiempo posible.

En busca de este objetivo aparecen los UA (Aeronaves no tripuladas), estas aeronaves son desarrolladas en su momento para otros objetivos, objetivos militares; pero el ingenio del hombre permite que este tipo de vehículo se convierta en una de las herramientas más innovadoras en la captura de información topográfica.

Para el desarrollo de nuestro trabajo es necesario aclarar las definiciones que se utilizan en el ámbito de las UA, debido a las diferentes características que se les otorga a las aeronaves para su funcionamiento y el cumplimiento del objetivo, se considera por parte de la OACI (Organización internacional de aviación civil) en su circular 328 (OACI, s.f.), la siguiente clasificación:

UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Se utiliza para denominar a los vehículos aéreos no tripulados.

UAS (Unmanned Aerial System)

Se genera este término para unificar un sistema conformado por la aeronave, el enlace para las comunicaciones y la estación en tierra.

Aeronaves autónomas

Son Aquellas aeronaves capaces de realizar una función o actividad de una forma completamente independiente, sin la necesidad de la intervención humana.

RPA (Remotely Piloted Aircraft)

Este término nace para nombrar a las aeronaves no tripuladas que son operadas mediante control remoto, lo cual se hace necesario para otorgar un nombre a las aeronaves reservadas a la aviación comercial.

RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)

Este término define el grupo de aeronave, enlace de comunicaciones y estación de tierra, para las UA que son manipuladas mediante control remoto.

Toda esta terminología se ve evocada por la necesidad de unificar los desarrollos en esta nueva tecnología, así como también se hace para realizar la normatividad de la misma,

Es tanto el éxito de este tipo de aeronave que grandes empresas dedicadas al desarrollo de tecnología de precisión para la obtención de datos topográficos han incursionado en este campo y han llevado a cabo proyectos muy prometedores, un ejemplo claro son las casas TRIMBLE y TOPCON, aunque también aparecen nuevas empresas como senseFly que se dedica al diseño de una aeronave específica para la generación de datos topográficos, pero lo más destacado es que estas tres empresas al momento de dar origen a sus UAS pensando en la adquisición de datos topográficos coinciden en aeronaves de ala fija, con funciones totalmente autónomas y con sistemas GPS de Gran precisión en dichas aeronaves.

Trimble con el UX5 nos dice que puede obtener una resolución (GSD) hasta de 1cm, TOPCON llega a especificar con su aeronave SIRIUS 1,6 cm en resolución (GSD) y senseFly con el EBBE resolución (GSD) de 1cm, lo que nos lleva a pensar en la recolección de una gran cantidad de información y si es posible una gran calidad en los datos.

Paralelo a la generación de datos topográficos con UAS que tienen funciones autónomas, se crea también un mercado de sistemas de aeronaves no tripuladas manipuladas mediante control remoto RPAS , las cuales se presentan ante el mercado mundial con un bajo costo y un alto nivel de productividad comparado con las aeronaves de ala fija mencionados con anterioridad.

Empresas como DJI, YUNEEC crean sistemas con aeronaves no tripuladas con una menor robustez, con un sistema que maneja una aeronave conocida como cuadracóptero o en algunos casos aeronaves con más de cuatro hélices, que se categorizan también como vehículos de ala rotatoria, pero estos sistemas son operados mediante control remoto.

Es tal el impacto en el mercado de estas aeronaves que se empiezan a implementar también en la captura de información topográfica lo que ayuda a impulsar aún más este negocio y se llegan a generar aeronaves con giroscopios internos que permiten una mayor estabilidad, se integran sistemas de GPS más precisos y se empieza a ver estas pequeñas aeronaves como una solución para la captura de información topográfica.

En la actualidad la casa Trimble llevada seguramente por la innovación en el mercado de este tipo de RPAS desarrollo un vehículo no tripulado de ala rotatoria al cual denomino ZX5 para la captura de información topográfica y la casa TOPCON se asocia con la empresa Asctec para la distribución del Falcón 8, que también busca los mejores resultados en cuanto la adquisición de datos topográficos.

Los creadores de los RPAS afirman que se puede realizar adquisición de datos topográficos con este tipo de aeronaves, pero aparecen incógnitas tales como que tan efectivo es un método que tiene implícito el error humano por ser manipulado mediante control remoto, la aeronave tiene las características suficientes para corregir errores en posición, caso contrario de los UAV autónomos los cuales en diferentes comprobaciones han arrojado resultados positivos frente a la topografía convencional.

Basados en el desarrollo que ha tenido la incursión de estos equipos en Colombia, el ente regulador de la ocupación del espacio aéreo “Aeronáutica Civil”, mediante la “Circular Reglamentaria 002 – RPAS” condiciona la utilización de los RPAS en Colombia.

Dentro de algunos de sus apartes podemos mencionar lo siguiente:

No estará permitido la utilización de RPAS que superen los 25 Kg de peso.

Deben disponer un equipo GPS, el cual debe proporcionar información real de su ubicación para que el operador este rastreando permanentemente el equipo.

Deben poseer un Sistema de lanzamiento y recuperación de la aeronave.

Los motores deberán ser silenciosos y sus alas no deben ser metálicas, así mismo, deberán tener colores identificables y plaquetas de información del fabricante.

La operación de los RPAS, no se podrá efectuar sobre edificaciones, público o áreas congestionadas, condiciones meteorológicas.

La distancia de operación no deberá ser mayor a 750m del operador y la altura de operación no superara los 152m.

Esta reglamentación esta publicada en la página de la Aerocivil y puede ser consultada por el público en general, con el fin de que las empresas se rijan bajo estos parámetros cuando se refieran a la operación y comercialización de productos elaborados con base en equipos RPA.

La ICAO (Organización de aviación civil internacional), es la entidad mundial que regula la aviación civil, y sus reglamentaciones las adopta la Aeronáutica Civil Colombiana.

Existe dentro de esta reglamentación una generalización en cuanto a los RPAS, entendiéndose por estos como aquellos que son operados remotamente, y que deben tener un monitoreo permanente desde tierra, y dejan por fuera los UAV, que son los aquellos equipos denominados “De ala fija”, los cuales son programados en oficina y requieren únicamente el sitio de lanzamiento, teniendo autonomía de vuelo muy superior a sus similares los RPAS, y con cubrimiento de área mayor.

En Colombia, existen entidades tanto estatales como privadas que han adoptado esta tecnología, dentro de estas podemos mencionar el “Instituto Geográfico Agustín Codazzi” IGAC y “Datum Ingeniería”, esta última de carácter privado la cual ha realizado trabajos en diversas áreas con resultados de muy alta calidad, pero que aún no cuentan con el aval del IGAC, que es la entidad oficial para el manejo y elaboración de la cartografía nacional.

Actualmente el IGAC, está llevando a cabo un proyecto con equipos RPAS denominado *“VIABILIDAD DEL USO DE AERONAVES NO TRIPULADAS PARA LA ELABORACION DE CARTOGRAFIA BASICA A ESCALAS DETALLADAS CON FINES DE LEVANTAMIENTOS PREDIALES CATASTRALES”* en el municipio de Pacho Cundinamarca y Cabuyaro (Meta), con equipos RPA y UAV (Trimble UX5 y ZX5).

Este proyecto fue presentado en las instalaciones del IGAC en el mes de Agosto de 2016 donde se logró contar con la invitación y asistencia. Con base en esta presentación, los expositores y los resultados obtenidos y esperados se evidencio el estado actual de los sistemas RPAS y UAV en materia de homologación por parte del IGAC, que es la principal entidad del

estado que regula este tipo de información, y que está regulada por la circular reglamentaria 002 demitada por la Aeronautica Civil, (Civil, 2015).

5. Metodología

5.1. Trabajo de campo con RTK

Para el desarrollo del trabajo se seleccionó el Predio “El Manantial “, ubicado en la vereda “La Argentina” del municipio de Villavicencio Departamento del Meta, aproximadamente a 15 minutos del casco urbano en las siguientes coordenadas geográficas: LATITUD: 4° 11’ 41.14” N y LONGITUD 73° 38’27.35” W. En la siguiente figura observamos una parte del predio seleccionado el cual cuenta con características óptimas para realizar una comparación de la información muy acorde a los objetivos del proyecto, posee un terreno inclinado con potreros y zonas de vegetación alta.



Figura 6. Panorámica predio “El Manantial”. (Elaboración Propia)

Teniendo nuestra área de estudio seleccionada continuamos con la etapa de localización de los puntos base en el predio, contemplando que el predio cuenta con una diferencia de altura de aproximadamente 200 m se determinó que era necesario Implementar dos Puntos Bases para realizar la captura de los Datos con el sistema RTK.

Pasadas dos horas del inicio de la grabación en los puntos base se cierra el levantamiento estático en las antenas y se importan los datos obtenidos al controlador para luego realizar el pos proceso en un ordenador.

Tabla 1

Coordenadas Obtenidas para Puntos Base

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
BASE 1	1048546.55	955436.88	527.665	BASE
BASE 2	1048418.22	955464.37	591.745	BASE

Datos obtenidos en Campo (Elaboración Propia)

Terminada la sesión de levantamiento Estático se procede a armar el radio y su respectiva antena de transmisión en el punto Base 1 para proceder a realizar el levantamiento en modo RTK con un tiempo de captura por punto de 5 segundos, se hace la configuración de los equipos y se procede a la captura de los puntos de terreno.

Mientras se realiza el levantamiento del terreno con el método RTK también se observa la mejor distribución de los puntos de control para el vuelo del RPA y se van materializando en campo con una estaca y un tornillo en la cara superior; luego de materializados se procede a tomar los datos con una duración de 3 minutos en cada punto.

Luego de tener los datos del levantamiento estático, del levantamiento RTK y de los puntos de control, se procede a calcular en el programa Trimble Business Center las coordenadas definitivas para los puntos base, los puntos de terreno y los puntos de control., para esto se

realizó la corrección de las elevaciones con el modelo Geoidal mundial EGM2008. Para comprender un poco mejor la transformación de las elevaciones, mencionamos conceptos extraídos de (Mequetrefe, 2013)

5.1.1. Altura elipsoidal.

Son aquellas alturas referidas a una superficie de referencia adoptada (Elipsoide). Cuando hablamos de alturas elipsoidales nos ubicamos inmediatamente en las alturas proporcionadas por el Sistema de Posicionamiento Geodésico (GPS), pues son las que este instrumento nos presentará, referidas al elipsoide utilizado.

5.1.2. Altura ortométrica.

Las alturas existentes, son alturas orthométricas, medidas en relación al nivel medio del mar. Ya sabemos que el nivel medio del mar corresponde a una superficie conocida como Geoide, siendo este una superficie equipotencial. Por tanto, esta altura será medida a través que la línea de la plomada. En la figura 8 vemos la fórmula para el cálculo de alturas a partir de una variable conocida. (Mequetrefe, Geoide, GPS, 2012)

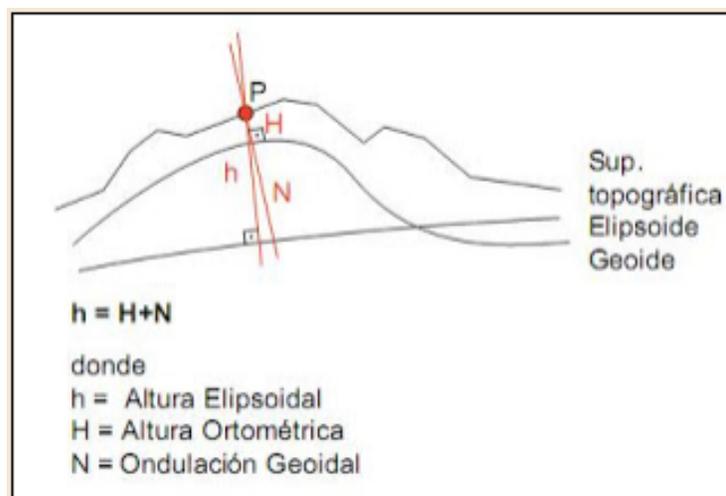


Figura 8. Altura Orthométrica Fuente: (Nordeste, s.f.)

5.1.3. Ondulación del geoide

Distancia de la superficie del elipsoide de referencia al geoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide. Normalmente esta ondulación se establece mediante un modelo geoidal, de manera que podamos convertir la coordenada GPS (altura elipsoidal) a alturas respecto al Geoide EGM2008 (Mequetrefe, Geoide, GPS, 2012).

5.1.4. Modelo Geoidal.

Se trata de un modelo establecido para la transformación entre alturas. El problema es resuelto mediante el uso de modelos geoidales para poder convertir las alturas entre superficies.

Actualmente, para el elipsoide WGS84, se utilizó el Modelo Geoidal mundial EGM2008. (Mequetrefe, 2013)

5.2. Especificaciones del RPA

Seguidamente, se procedió a realizar el planeamiento del vuelo con el equipo RPA Mavic Pro que cuenta con las siguientes características:

- DIMENSIONES DEL RPA DOBLADO : H83MM X W83MM X L198MM
- DIMENSIÓN DE RPA EN DIAGONAL SIN INCLUIR LAS HÉLICES : 335 MM
- PESO DEL RPA CON BATERÍA Y HÉLICES Y PROTECTOR DE GIMBAL : 1.64 LBS (743 G)
- PESO DEL RPA CON BATERÍA Y HÉLICES, SIN EL PROTECTOR DE GIMBAL : 1.62 LBS (734 G)
- VELOCIDAD MÁXIMA DE ASENSO : 16.4 FT/S (5 M/S) EN MODO SPORT
- MÁXIMA VELOCIDAD DE DESCENSO : 9.8 FT/S (3 M/S)
- VELOCIDAD MÁXIMA EN MODO SPORT SIN VIENTO : 40 MPH (65 KPH)

- ALTURA MÁXIMA DE VUELO SOBRE EL NIVEL DEL MAR : 16404 FEET (5000 M)
- TIEMPO MÁXIMO DE VUELO SIN VIENTO Y VOLANDO VELOCIDAD CONSTANTE DE 15.5 MPH (25 KPH): 27 MINUTOS
- TIEMPO MÁXIMO DE VUELO EN UN SOLO PUNTO ESTÁTICO SIN VIENTO : 24 MINUTES
- DISTANCIA MÁXIMA DE VUELO DEL RPA : 8 MI (13 KM)
- TEMPERATURA DE OPERACIÓN : 32° TO 104° F (0° TO 40° C)
- SISTEMA GPS : GPS AMERICANO Y GLONASS RUSO

5.3 Especificaciones de la cámara

Cámara del RPA

Tabla 2

Cámara del RPA Utilizado

ESPECIFICACIONES CÁMARA	
Sensor	1/2.3" (CMOS), Píxeles efectivos:12.35 M (Píxeles totales:12.71M)
Objetivo	FOV 78.8° 28 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.2
Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 100 - 1600
Velocidad obturador electrónico	8s - 1/8000s
Tamaño de imagen	4000 × 3000
Modos de fotografía	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5/7/ fotogramas
Modos de Vídeo	C4K: 4096×2160 24p 2.7K: 2720x1530 24/25/30p FHD: 1920×1080 24/25/30/48/50/60/96p

ESPECIFICACIONES CÁMARA	
Tasa de Bits Máx. de Almacenamiento de Vídeo	HD: 1280×720 24/25/30/48/50/60/120p 60 Mbps
Sistemas de archivo compatibles	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Foto	JPEG, DNG
Vídeo	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)
Tarjetas SD compatibles	Micro SD™ Capacidad Máx: 64 GB. necesaria clase 10 o UHS-1
Rango de temperatura de funcionamiento	de 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)

Cámara RPS Mavic Pro (DJI, s.f.)

En la siguiente figura se observa en equipo RPA utilizado para la toma de la información en el desarrollo de este proyecto.



Figura 9. Sistema RPA Mavic Pro. (Na.ssl-Images-Amazon, s.f.)

5.4. Trabajo de campo con RPA

Ya con el equipo en el predio “El Manantial”, se identificaron los obstáculos que pudieran afectar el libre desplazamiento del equipo durante el vuelo, se materializaron los puntos de

control con cinta plástica en forma de cruz para que fueran identificables en las fotografías tomadas en el vuelo.

Apoyados con la aplicación libre “Altizure” para el sistema Android, de la casa Everest Innovation Technology, se procedió a realizar el diseño y planeación del vuelo como se observa en la figuras 10, 11 y 12; esta aplicación permite seleccionar el RPA a utilizar y reconoce sus características de forma automática, se puede escoger la altura de vuelo y el porcentaje de traslape entre las fotografías, con estos datos y el área de cobertura la aplicación ya nos arroja el diseño de las líneas de vuelo y nos especifica el tiempo de duración del vuelo.



Figura 10. Selección de Traslape entre Fotografías. (Elaboración Propia Aplicación Altizure)

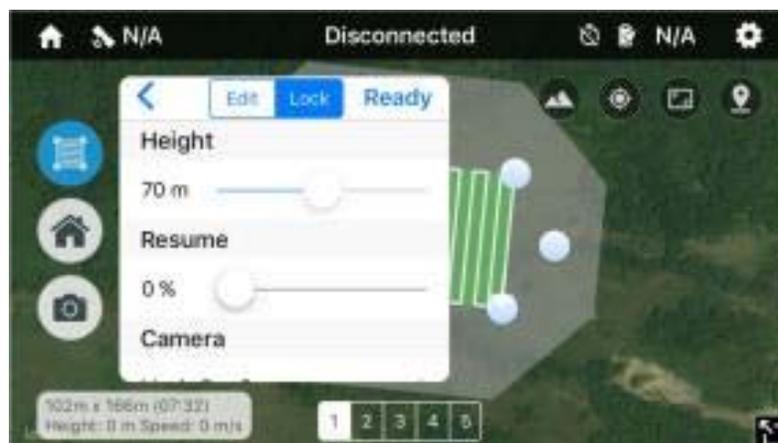


Figura 11. Selección de Altura de Vuelo. (Elaboración Propia Software Aplicación Altizure)

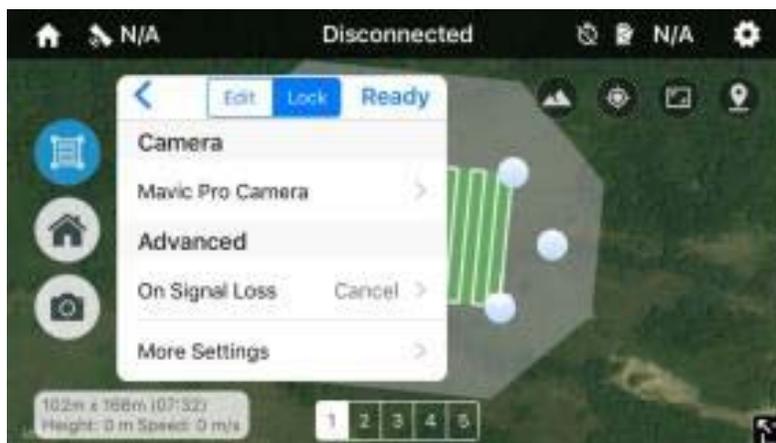


Figura 12. Selección del Tipo de Cámara. (Elaboración Propia Aplicación Altizure)

Tabla 3

Información del Vuelo con RPA Predio El Manantial.

ESPECIFICACIONES DEL VUELO	
Altura	70m
Traslape entre fotografías	85%
Número de fotografías	370
Área de cobertura	1.2 ha

Configuración vuelo (Elaboración propia - Software Altizure).

Una vez terminado el vuelo, se descargó la información para su posterior procesamiento en una Laptop Asus con Procesador Core I7 y 8 Gb de memoria RAM, se verificó la calidad de las imágenes tomadas por el RPA, donde se evidenciara el cubrimiento del predio y la visualización de los puntos de control.

5.5 Trabajo en oficina.

Con la información obtenida en campo, se procedió a procesar la información del vuelo en el software “Photoscan”, Software de prueba; en este software se cargaron las imágenes obtenidas en campo, se agregaron las 370 fotografías que se generaron en el vuelo y luego de una depuración, al final se dejan 334 para realizar el proceso.

En el orden del flujo de trabajo que maneja el programa “Photoscan” lo primero que se hace es el alineamiento de las fotografías como se observa en la figura 13, para dicho proceso se selecciona en la opción de “Precisión” la opción de “Alta” y en la opción “pre-procesar emparejamiento de imágenes” se selecciona la opción “puntos de apoyo”

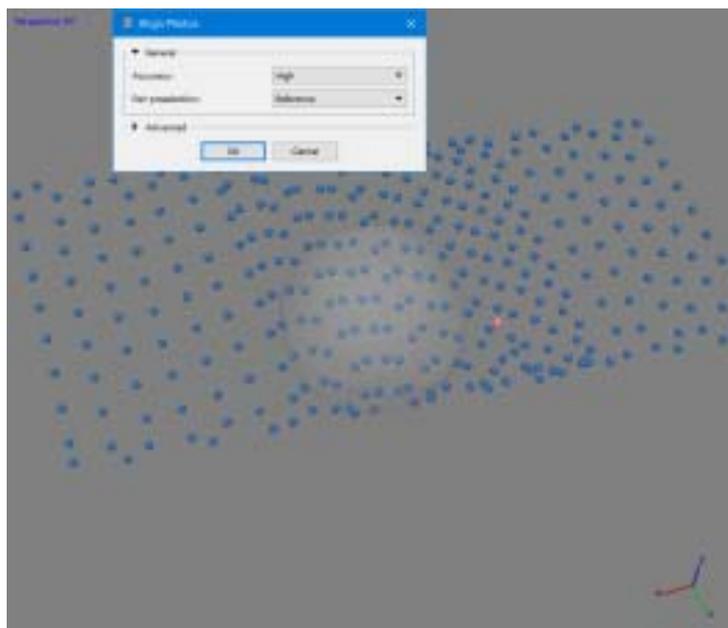


Figura 13. Alineamiento de Fotografías. (Elaboración Propia Software PhotoScan)

Teniendo las fotografías alineadas se hace un proceso rápido de “Crear nube de puntos densa” y de “Crear Malla” como se observa en la figura 14, ya que es necesario tener estos procesos realizados para la ubicación de los puntos de control en las fotografías,

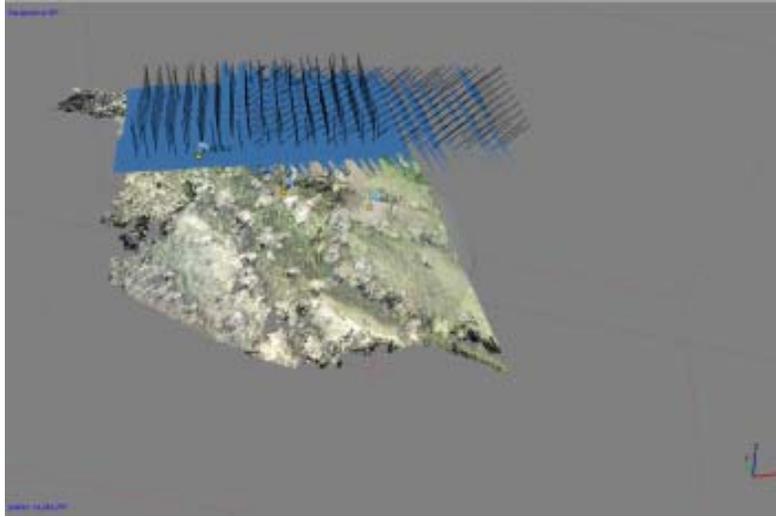


Figura 14. Construcción de Puntos y Malla. (Elaboración Propia Software PhotoScan)

Se realizó la identificación de los Puntos de control en cada una de las fotografías. En la figura 15 se identifica desde la fotografía, la marca en terreno uno de los tres puntos de control.



Figura 15. Identificación de Puntos de Control. (Elaboración Propia)

En la siguiente tabla, se encuentran las coordenadas de los puntos de control procesados en oficina mediante el sistema RTK:

Tabla 4

Puntos de Control

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código	Proyecciones	Error (m)
BASE 2	1048418.224	955464.371	591.745	PCTL1	64	0.128
195	1048348.990	955449.903	618.853	PCTL2	107	0.271
140	1048291.900	955458.398	647.861	PCTL3	107	0.147

Coordenadas Puntos de Control. (Elaboración Propia).

Teniendo identificados nuestros puntos de control, se reprocesan las opciones de “Crear nube de puntos densa” y de “Crear Malla”, como se observa en la figura 16.

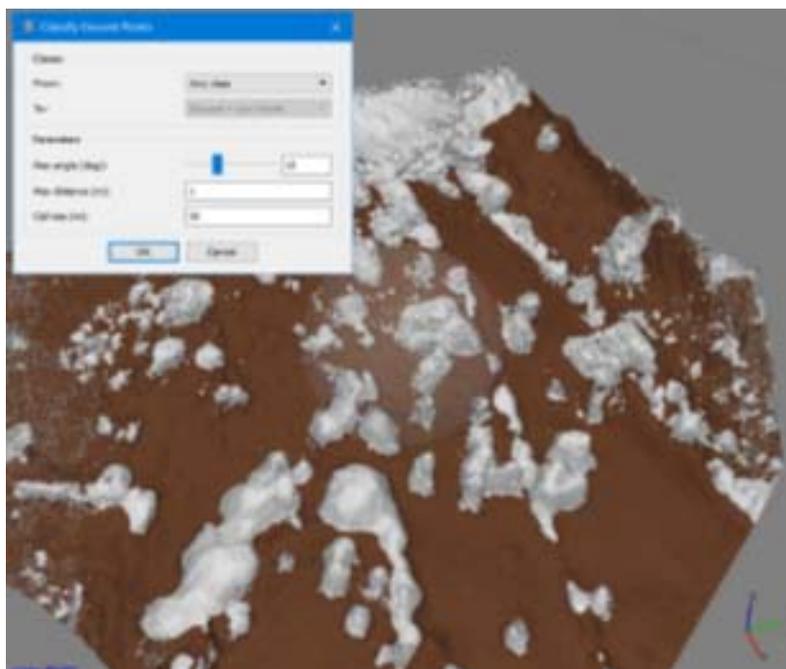


Figura 16. Nube de puntos densa. (Elaboración Propia Software PhotoScan)

En el software Arcgis (Version10.2) tomamos los puntos de terreno que se obtuvieron con el sistema RTK y los generados a partir de las imágenes del RPAS para realizar los Modelos Digitales de Terreno, crear las curvas de nivel y hacer los perfiles para luego proceder a realizar los respectivos análisis.

6. Resultados

6.1. Información tomada con el sistema RTK.

En el Anexo 1, se relacionan las coordenadas de los puntos tomados con el sistema RTK

6.2. Información tomada con el sistema RPA.

En la figura 17 se observa la Nube De Puntos tomados con RPAS y los puntos capturados con el sistema RTK.

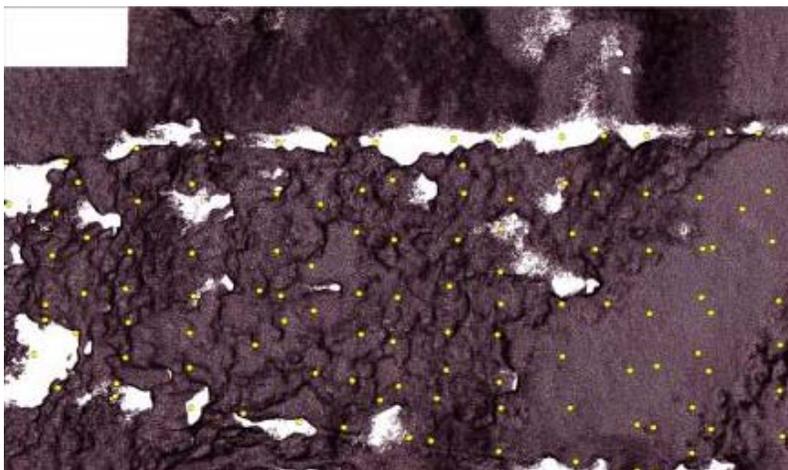


Figura 17. Nube de puntos con RPA (Elaboración propia).

Se evidencian vacíos de información donde hay presencia de vegetación de gran follaje. Se utilizó el método geo-estadístico “Kriging” para realizar las predicciones de los errores y la aproximación de la información en los espacios vacíos por causa de la vegetación alta y de gran follaje.

Este procedimiento se realizó para cada una de las variables en estudio “Este, Norte y Elevación”. Posteriormente se realizó la validación de los puntos capturados con el sistema RTK, y la información de las probabilidades por método de “Kriging”.

6.3 Comparación Puntos RTK contra puntos RPAS (Modelo de Predicción - Kriging)

Al modelo de predicción de Kriging, no se le aplicó ningún factor que optimizara los resultados, para suponer la realidad de la información obtenida. Los Resultados se encuentran en el Anexo 2, “Comparación de Modelo sin optimizar”.

6.4 Comparación Puntos RTK contra puntos RPAS (Modelo de Predicción - Kriging)

Optimizado

En el Anexo 3 se presenta la comparación nube de puntos RPAS con modelo Kriging optimizado.

6.5 Generacion MDT (Modelo Digital del terreno)

Con el software Arcgis, y sus módulos de “Herramientas de análisis 3D” se generaron los siguientes modelos:

6.5.1 Modelo Digital del Terreno con Información RTK

Con la información procesada del terreno y con el software Arcgis, se elaboró el Modelo Digital del Terreno del área de estudio como se observa en la figura 18.

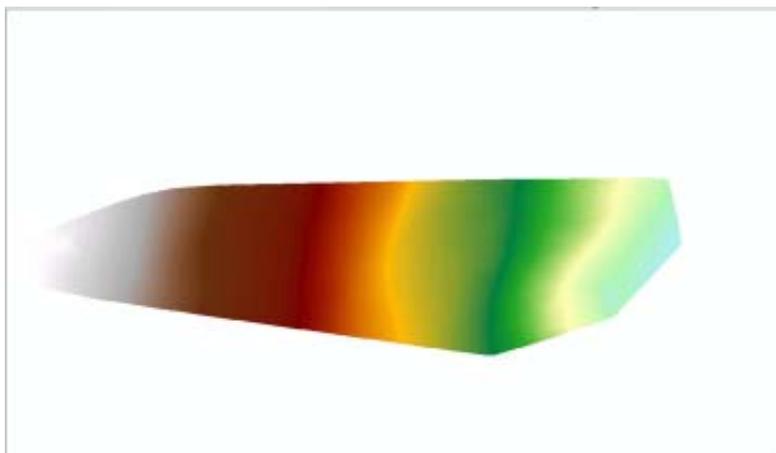


Figura 18. MDT Información RTK. (Elaboración propia).

6.5.2 MDT con Información RPAS

Utilizando el software Arcgis, se elaboró el Modelo Digital de Terreno con la información obtenida mediante el uso del RPA dando como resultado la imagen del terreno como se observa en la Figura 19.



Figura 19. MDT Información RPAS. (Elaboración propia).

6.6 Generación de Curvas de Nivel.

Con el software Arcgis, y sus módulos de “Herramientas de análisis 3D” se generaron las curvas de nivel basados en los modelos digitales de terreno creados en el numeral anterior, tanto para la información obtenida con el sistema RTK como el sistema RPA, como se observa en las figuras 20 y 21 respectivamente.

6.6.1 Curvas de Nivel Generadas con Información RTK

En la figura 20 se observan las curvas de nivel obtenidas mediante la interpolación de la información con el software Arcgis en el sistema RTK.

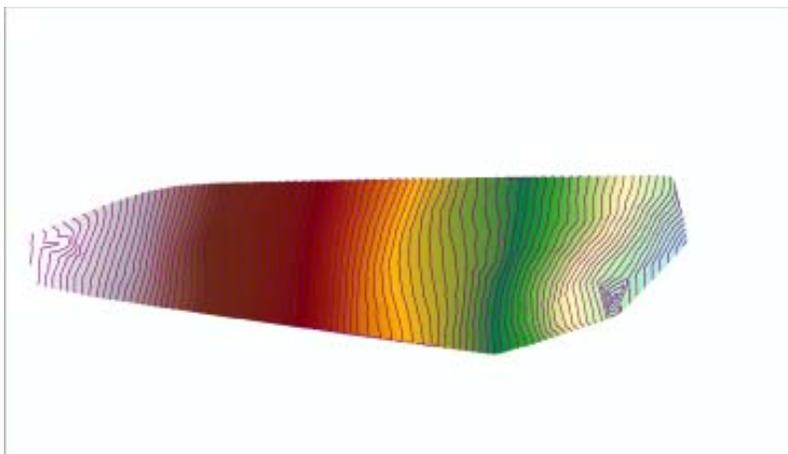


Figura 20. Curvas de Nivel con información RTK.

6.6.2 Curvas de Nivel Generadas con Información RPAS

En la figura 21 se observan las curvas de nivel obtenidas mediante la interpolación de la información obtenida con el software Arcgis en el vuelo con equipo RPA.

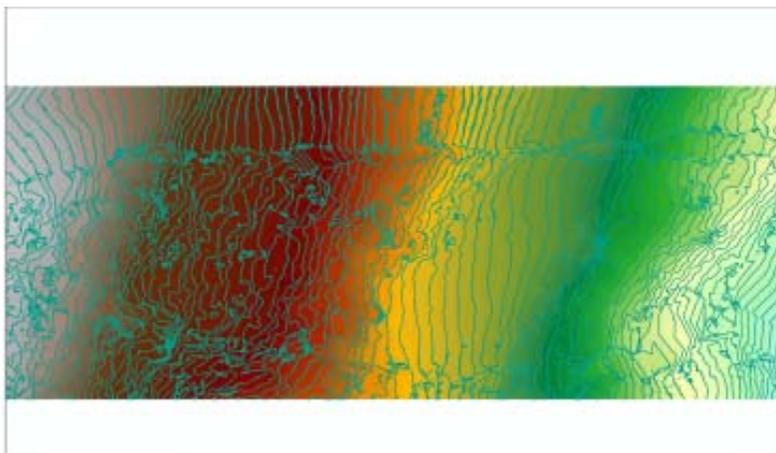


Figura 21. Curvas de Nivel con información RTK.

6.7 Generación de Perfiles de Terreno.

Posteriormente se realizó la generación de los perfiles de terreno se utilizando el Software (Arcgis) con el módulo de “Herramientas de análisis 3D” obteniendo los perfiles del terreno para los dos sistemas trabajados (RTK y RPA), como se observa en las figuras 22 a27.

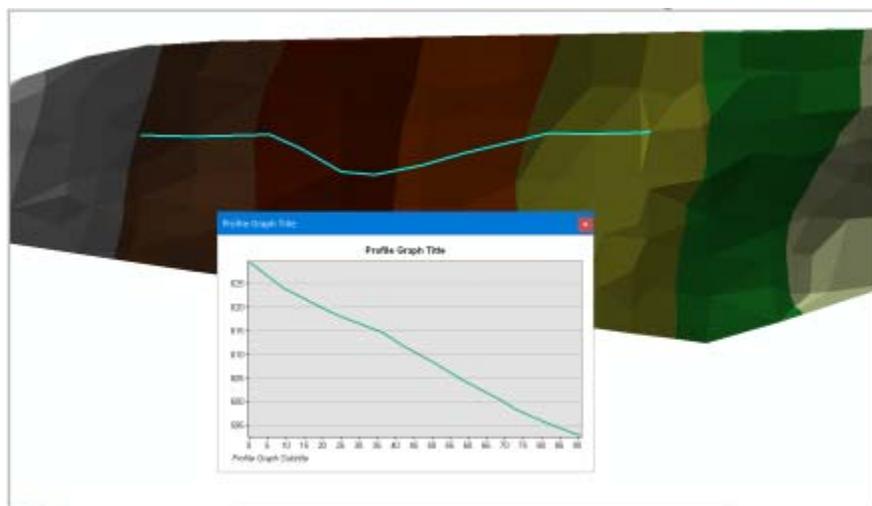


Figura 22. Generación Perfil de Terreno (Arcgis) con Información RTK

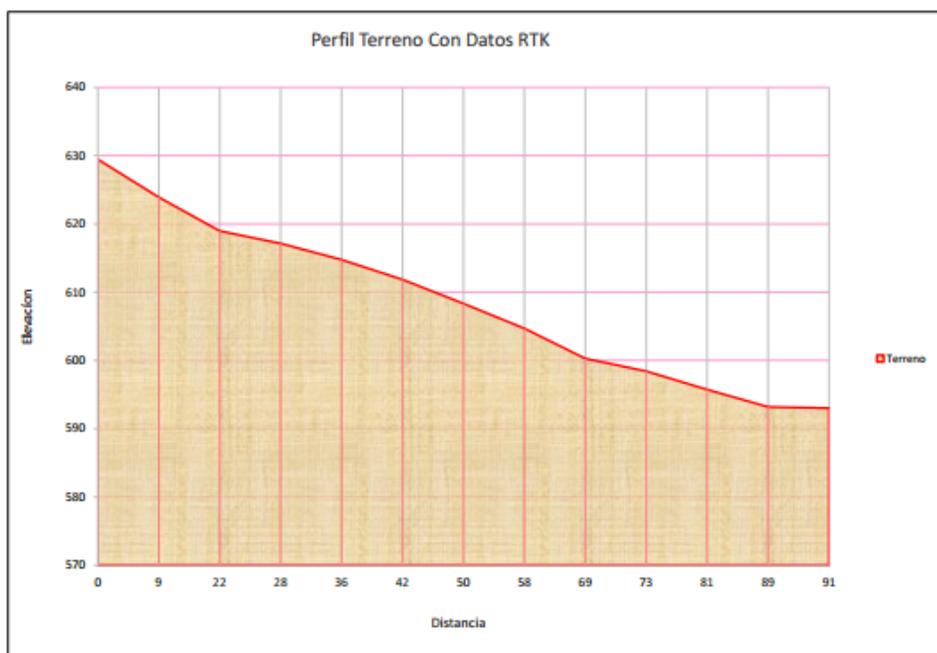


Figura 23. Perfil de Terreno con Información RTK. (Elaboración Propia).

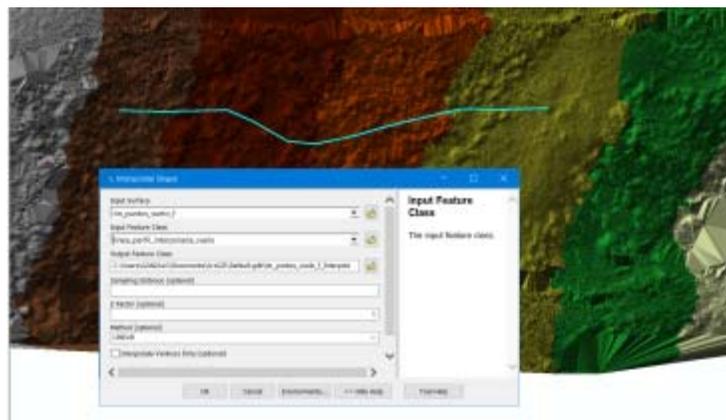


Figura 24. Interpolación Línea de Perfil RPAS. (Elaboración Propia).

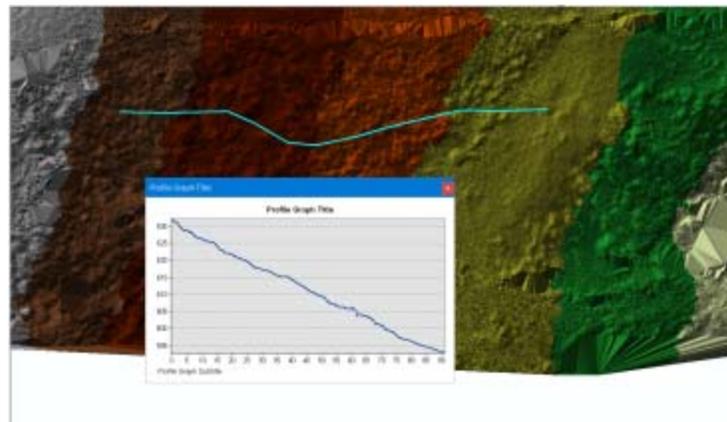


Figura 25. Generación Perfil de Terreno (Arcgis) con Información RPAS. (Elaboración Propia).

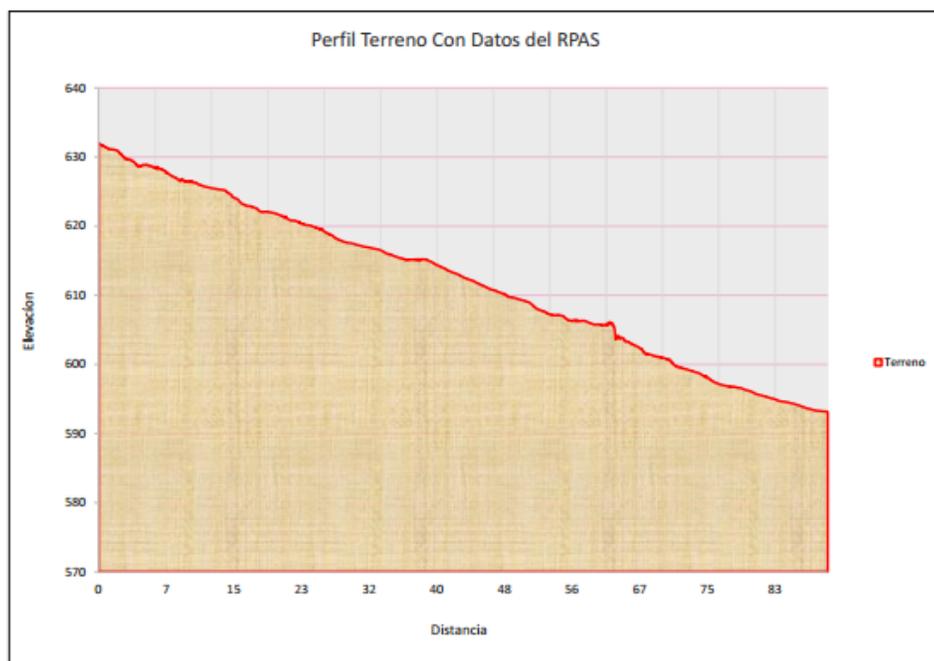


Figura 26. Perfil de Terreno con Información RPAS. (Elaboración propia).

7. Discusiones.

En terrenos con pendientes fuertes es difícil mantener la misma elevación para la captura de la información, lo que afecta la precisión de los datos ya que dependiendo de la altura de vuelo se obtiene la escala de la cartografía y por ende la resolución espacial.

Para el análisis comparativo de la información entre RTK y RPAS, fue necesario buscar una solución que lograra obtener una concordancia espacial entre un punto tomado con sistema RTK y los puntos RPAS, ya que a pesar de que un punto RTK contaba a su alrededor con más de 91 puntos en un metro cuadrado, ninguno de estos correspondía con el tomado con sistema RTK, por lo que se toma la decisión de generar un modelo de predicción que aprovechara la gran cantidad de información obtenida con el RPAS.

La información inicial obtenida mediante RPA luego de haber realizado el vuelo sobre el área de estudio, generó una gran cantidad de información “Aproximadamente 91 Puntos por metro cuadrado”, lo que en un terreno libre de vegetación sería perfecto para la generación de productos topográficos; desafortunadamente cuando existe vegetación alta, el modelo pierde calidad en la elevación generando un MDT que no es confiable. La cantidad de puntos generados favorece el modelo de predicción para las coordenadas “X” y “Y” pero es indiferente en “Z”, debido a cambios significativos de elevación en distancias cortas.

La información obtenida con el sistema RPAS mediante el modelo de predicción optimizado genera buena calidad de información tanto en coordenadas “X” como en “Y” reduciendo los

promedios a valores centimétricas y en ocasiones hasta milimétricos; caso contrario con la coordenada “Z” que no logro una disminución significativa en su promedio, logrando identificar que cuando el terreno o área de estudio no posee vegetación alta y terreno descubierto como se observa en la figura 27, donde las zonas de color amarillo representan este tipo de terreno y las menores diferencias al momento de realizar la comparación entre los dos métodos de trabajo.

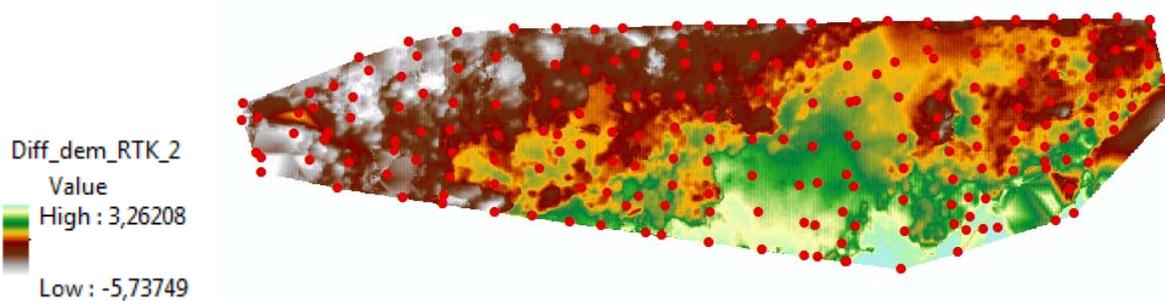


Figura 277. Comparación MDT con RTK y MDT con RPAS. (Elaboración propia).

8. Anexos

Anexo A. Coordenadas Obtenidas con Sistema RTK.

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
1	1048476.05	955473.86	570.50	PT
2	1048478.11	955478.77	569.65	PT
10	1048478.30	955475.64	569.49	CE
11	1048477.97	955472.29	569.15	CE
12	1048477.82	955468.85	567.80	CE
13	1048477.32	955463.89	565.76	CE
14	1048474.06	955459.83	566.30	CE
15	1048470.11	955454.71	567.20	PT
16	1048464.59	955447.66	567.94	PT
17	1048460.36	955441.61	565.40	PT
18	1048461.48	955436.41	569.34	LI
19	1048459.83	955448.07	569.77	PT
20	1048459.46	955452.95	571.24	PT
21	1048464.87	955456.23	570.10	PT
22	1048465.60	955461.77	571.78	PT
23	1048464.98	955465.96	573.56	PT
24	1048465.56	955470.25	574.21	PT
25	1048465.55	955475.12	574.89	PT
26	1048464.15	955479.05	575.71	CE
27	1048456.98	955479.00	578.38	CE
28	1048457.57	955473.66	577.58	PT
29	1048471.11	955479.19	572.94	CE
30	1048470.52	955472.10	572.45	PT
31	1048471.34	955467.50	570.40	PT
32	1048471.72	955462.64	568.73	PT
33	1048470.11	955457.49	568.07	PT
34	1048456.98	955466.52	577.74	PT
35	1048456.26	955460.68	576.56	PT
36	1048455.35	955455.78	574.59	PT
37	1048455.01	955450.93	572.48	PT
38	1048455.37	955446.32	570.81	PT
39	1048455.09	955447.92	571.48	PT
40	1048448.23	955445.81	574.57	PT
41	1048448.23	955445.78	574.58	PT

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
42	1048448.42	955452.39	576.79	PT
43	1048450.09	955455.52	577.41	PT
44	1048449.38	955459.45	579.07	PT
45	1048450.04	955465.07	580.55	PT
46	1048449.78	955472.45	580.55	PT
47	1048448.77	955478.64	581.13	CE
48	1048440.30	955478.43	584.66	CE
49	1048440.05	955471.41	584.15	CE
50	1048439.79	955463.95	583.88	CE
51	1048440.11	955456.79	582.58	CE
52	1048440.27	955450.96	580.79	PT
53	1048441.30	955446.24	578.86	PT
54	1048442.11	955439.52	577.45	PT
55	1048436.07	955427.84	582.79	LI
56	1048435.16	955434.17	581.95	LI
57	1048438.03	955432.74	580.47	PT
58	1048441.62	955432.90	578.28	PT
59	1048444.69	955433.15	577.19	PT
60	1048457.59	955434.94	571.39	PT
61	1048438.62	955435.63	579.94	PT
62	1048438.43	955439.92	579.82	PT
63	1048435.14	955443.82	581.77	PT
64	1048434.79	955438.30	582.06	PT
65	1048434.13	955449.84	583.42	PT
66	1048431.03	955453.36	585.80	PT
67	1048431.66	955457.37	586.55	PT
68	1048431.82	955462.29	586.95	PT
69	1048430.76	955470.26	587.99	PT
70	1048429.55	955478.24	588.85	CE
71	1048420.86	955478.39	590.97	CE
72	1048422.30	955469.53	590.57	PT
73	1048423.03	955461.92	590.79	PT
74	1048423.94	955452.96	590.06	PT
75	1048424.22	955446.27	588.28	PT
76	1048424.08	955439.31	587.53	PT
77	1048424.55	955432.40	586.99	PT
78	1048423.67	955424.27	587.83	LI
79	1048413.66	955433.50	592.73	PT

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
80	1048411.70	955425.95	593.39	LIBUENO
81	1048413.32	955442.31	593.43	PT
82	1048413.73	955451.13	593.48	PT
83	1048413.92	955461.03	593.01	PT
84	1048429.57	955472.07	588.40	PT
85	1048429.58	955472.10	588.32	PT
86	1048418.46	955466.85	591.48	PT
87	1048413.76	955478.36	593.49	CE
88	1048412.04	955468.62	593.21	PT
89	1048412.41	955460.83	593.20	PT
90	1048412.25	955453.47	593.80	PT
91	1048411.78	955445.01	594.10	PT
92	1048410.90	955436.79	594.41	PT
93	1048410.79	955429.85	593.90	PT
94	1048411.51	955425.80	593.64	LI
95	1048405.34	955426.80	596.48	LI
96	1048404.94	955433.71	596.52	PT
97	1048405.50	955443.06	595.95	PT
98	1048404.35	955451.05	595.87	PT
99	1048404.27	955460.62	595.72	PT
100	1048403.84	955469.14	596.22	PT
101	1048403.98	955478.00	597.70	CE
102	1048397.43	955477.97	600.76	CE
103	1048396.35	955469.22	599.73	PT
104	1048396.14	955460.75	598.43	PT
105	1048397.94	955452.47	597.75	PT
106	1048401.43	955442.42	597.08	PT
107	1048402.56	955434.19	597.39	PT
108	1048402.55	955427.14	597.68	LI
109	1048393.21	955428.55	600.68	LI
110	1048392.36	955436.70	600.44	PT
111	1048391.19	955444.53	600.13	PT
112	1048391.11	955452.45	599.95	PT
113	1048392.67	955463.10	600.42	PT
114	1048391.63	955470.74	602.20	PT
115	1048391.21	955477.86	603.47	CE
116	1048381.64	955477.49	606.89	CE
117	1048383.33	955468.40	605.29	PT

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
118	1048381.83	955463.77	605.25	PT
119	1048381.80	955457.40	604.69	PT
120	1048381.85	955452.49	604.26	PT
121	1048381.32	955447.82	604.19	PT
122	1048381.57	955440.59	603.89	PT
123	1048381.86	955436.70	603.77	PT
124	1048381.51	955430.14	603.96	LI
125	1048371.28	955431.73	609.04	LI
126	1048372.15	955438.15	608.83	PT
127	1048373.59	955442.50	608.41	PT
128	1048373.79	955448.26	608.20	PT
129	1048374.09	955455.17	608.34	PT
130	1048375.31	955462.19	608.28	PT
131	1048376.30	955469.25	608.69	PT
132	1048376.10	955473.46	609.08	PT
133	1048365.42	955471.28	613.80	PT
134	1048365.69	955462.20	612.44	PT
135	1048366.17	955453.49	611.85	PT
136	1048365.51	955446.79	611.72	PT
137	1048366.35	955440.05	611.31	PT
138	1048363.55	955437.91	612.48	PT
139	1048297.47	955452.50	642.69	PT
140	1048291.90	955458.40	647.86	PCTL1
141	1048279.57	955456.79	649.77	LI
142	1048282.71	955449.62	648.27	PT
143	1048283.56	955445.53	647.99	PT
144	1048283.77	955448.55	647.98	PT
145	1048282.79	955457.38	648.57	PT
146	1048279.65	955460.45	649.61	LI
147	1048295.11	955459.34	645.00	PT
148	1048294.24	955462.68	645.90	PT
149	1048299.51	955464.27	643.90	PT
150	1048298.14	955454.05	642.67	PT
151	1048294.22	955448.10	643.17	PT
152	1048290.87	955453.84	645.71	PT
153	1048302.85	955447.57	639.84	PT
154	1048300.35	955441.99	640.48	LI
155	1048303.27	955457.29	640.93	LI

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
156	1048303.81	955461.94	641.53	PT
157	1048307.24	955467.59	640.62	PT
158	1048305.15	955470.44	641.45	LI
159	1048316.03	955474.04	636.84	LI
160	1048314.44	955466.23	636.99	PT
161	1048313.84	955459.82	636.59	PT
162	1048312.87	955452.36	636.03	PT
163	1048312.80	955450.08	636.03	PT
164	1048311.08	955444.85	635.75	PT
165	1048317.44	955448.03	633.26	PT
166	1048314.75	955439.79	633.42	LI
167	1048318.67	955454.05	633.12	PT
168	1048319.10	955462.54	633.83	PT
169	1048317.75	955470.95	635.72	PT
170	1048326.64	955476.06	631.49	CE
171	1048326.84	955468.08	630.20	PT
172	1048325.68	955460.43	629.44	PT
173	1048324.93	955454.73	628.99	PT
174	1048325.39	955449.70	628.29	PT
175	1048324.98	955444.31	628.29	PT
176	1048323.41	955438.52	628.62	LI
177	1048323.61	955440.46	628.65	PT
178	1048334.84	955436.72	623.24	LI
179	1048334.68	955442.83	624.21	PT
180	1048334.67	955448.05	624.18	PT
181	1048335.32	955453.66	623.52	PT
182	1048335.00	955460.20	623.92	PT
183	1048335.06	955470.69	625.77	PT
184	1048339.06	955476.87	624.44	CE
185	1048348.19	955476.80	620.97	CE
186	1048347.93	955469.10	619.84	PT
187	1048347.93	955460.49	618.96	PT
188	1048345.32	955454.52	620.09	PT
189	1048344.63	955446.31	620.35	PT
190	1048342.85	955435.83	619.83	LI
191	1048351.20	955434.57	616.94	LI
192	1048353.78	955441.98	616.67	PT
193	1048353.51	955451.48	617.16	PT

ID	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Código
194	1048348.48	955453.73	618.88	PT
195	1048348.99	955449.90	618.85	PCTL2
196	1048353.20	955458.18	617.13	PT
197	1048354.48	955467.57	617.55	PT
198	1048356.62	955476.77	617.96	CE
199	1048362.88	955476.87	615.39	CE
200	1048360.86	955469.76	615.46	PT
201	1048360.01	955463.41	615.33	PT
202	1048360.37	955454.06	614.74	PT
203	1048360.69	955447.89	613.91	PT
204	1048359.30	955440.88	614.24	PT
205	1048358.08	955433.75	614.15	LI
206	1048367.95	955432.26	610.31	LI
207	1048374.67	955477.53	610.10	LI
208	1048481.32	955465.82	564.89	PT
209	1048486.09	955472.94	564.64	PT
210	1048484.46	955464.38	562.44	PT
211	1048482.45	955458.54	560.57	PT
BASE 1	1048546.55	955436.88	527.67	3
BASE 2	1048418.22	955464.37	591.75	BASE
PT	1048548.72	955440.58	527.66	PT
PU	1048548.00	955437.60	527.40	PT
PV	1048546.96	955434.62	527.32	PT
PW	1048546.09	955430.93	526.89	PT
PX	1048548.80	955433.82	526.65	PT
PY	1048540.24	955429.79	528.56	PT
PZ	1048513.78	955448.03	541.53	PT

Anexo B Comparación sin optimizar.

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
1	1048476.052	955473.855	570.502	TERRENO	-0.618	0.01712	1.791391
2	1048478.108	955478.770	569.647	TERRENO	-1.780	0.079328	3.650934
10	1048478.304	955475.636	569.490	CERCA	-0.853	-0.29005	2.280701
11	1048477.970	955472.285	569.147	CERCA	-0.605	-0.002982	1.405857
12	1048477.823	955468.850	567.802	CERCA	-0.619	-0.021503	1.099584
13	1048477.320	955463.893	565.759	CERCA	-0.613	-0.01769	0.232118
14	1048474.058	955459.834	566.298	CERCA	-0.609	-0.018184	0.023152
15	1048470.105	955454.707	567.199	TERRENO	-0.638	-0.003178	0.573989
16	1048464.593	955447.655	567.941	TERRENO	-1.284	0.013899	0.538288
17	1048460.364	955441.614	565.395	TERRENO	-0.625	0.763472	3.294603
18	1048461.475	955436.414	569.342	LINDERO	-0.794	0.01394	-2.20739
19	1048459.828	955448.071	569.766	TERRENO	-0.838	0.008949	-0.727377
20	1048459.459	955452.947	571.243	TERRENO	-0.849	-0.013399	-0.077088
21	1048464.870	955456.232	570.101	TERRENO	-0.763	-0.006681	0.781655
22	1048465.598	955461.772	571.779	TERRENO	-0.747	-0.001134	1.106349
23	1048464.981	955465.955	573.564	TERRENO	-0.757	-0.009779	1.337746
24	1048465.557	955470.252	574.210	TERRENO	-0.746	-0.007601	1.167448
25	1048465.551	955475.116	574.890	TERRENO	-0.717	-0.012422	1.18373
26	1048464.154	955479.045	575.708	CERCA	-0.493	-1.357407	1.307281
27	1048456.978	955479.000	578.382	CERCA	-2.226	-1.451106	2.280695
28	1048457.569	955473.655	577.581	TERRENO	-0.871	-0.015525	0.834903
29	1048471.113	955479.193	572.935	CERCA	-1.995	-1.145153	3.146682
30	1048470.517	955472.097	572.454	TERRENO	-0.668	-0.023912	1.691991
31	1048471.338	955467.504	570.403	TERRENO	-0.648	-0.006273	1.885402
32	1048471.717	955462.638	568.733	TERRENO	-0.672	-0.024847	0.811553
33	1048470.106	955457.485	568.071	TERRENO	-0.668	-0.009742	0.532127
34	1048456.983	955466.522	577.736	TERRENO	-0.884	0.008007	1.239778
35	1048456.258	955460.681	576.558	TERRENO	-0.918	-0.016592	1.669721
36	1048455.346	955455.781	574.591	TERRENO	-0.949	-0.004965	1.448885
37	1048455.006	955450.926	572.475	TERRENO	-0.960	-0.00916	0.548362
38	1048455.374	955446.324	570.812	TERRENO	-1.069	0.194965	0.602584
39	1048455.085	955447.917	571.480	TERRENO	-0.959	0.006661	-0.031057
40	1048448.234	955445.810	574.572	TERRENO	-1.105	0.001146	0.269074
41	1048448.234	955445.784	574.578	TERRENO	-1.115	0.00967	0.268014
42	1048448.422	955452.389	576.785	TERRENO	-1.115	0.000806	1.25638
43	1048450.085	955455.520	577.407	TERRENO	-1.078	-0.004775	1.313032

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
44	1048449.379	955459.454	579.067	TERRENO	-1.079	-0.00006	1.812159
45	1048450.037	955465.071	580.551	TERRENO	-1.118	-0.029188	1.412424
46	1048449.784	955472.447	580.547	TERRENO	-1.066	0.005033	1.123726
47	1048448.769	955478.638	581.126	CERCA	-1.036	-1.082047	2.347808
48	1048440.295	955478.430	584.662	CERCA	-2.324	-0.975604	2.520229
49	1048440.052	955471.405	584.154	CERCA	-1.299	0.007728	1.392524
50	1048439.790	955463.951	583.881	CERCA	-1.344	-0.002037	1.108408
51	1048440.105	955456.785	582.582	CERCA	-1.335	-0.010982	0.568488
52	1048440.272	955450.961	580.791	TERRENO	-1.316	-0.002792	1.098664
53	1048441.300	955446.242	578.860	TERRENO	-1.301	0.012934	0.703932
54	1048442.114	955439.520	577.453	TERRENO	-1.279	0.030602	-0.860341
55	1048436.068	955427.844	582.792	LINDERO	-1.401	-0.00403	-2.019897
56	1048435.160	955434.167	581.945	LINDERO	-1.433	0.022334	-0.300545
57	1048438.027	955432.738	580.470	TERRENO	-1.589	0.220821	-0.649453
58	1048441.622	955432.904	578.277	TERRENO	-1.285	0.030494	-1.555578
59	1048444.694	955433.145	577.188	TERRENO	-1.609	0.031153	-1.801047
60	1048457.593	955434.938	571.389	TERRENO	-0.876	-0.018658	-0.952381
61	1048438.617	955435.634	579.935	TERRENO	-1.348	0.010428	-1.453937
62	1048438.428	955439.916	579.816	TERRENO	-1.349	0.003015	-0.402003
63	1048435.137	955443.816	581.765	TERRENO	-1.421	0.027086	0.680571
64	1048434.793	955438.297	582.061	TERRENO	-1.433	0.026287	-0.169265
65	1048434.128	955449.840	583.421	TERRENO	-1.451	-0.008705	0.938619
66	1048431.032	955453.359	585.802	TERRENO	-1.501	-0.006822	3.088183
67	1048431.656	955457.367	586.549	TERRENO	-1.512	-0.009226	1.731847
68	1048431.822	955462.290	586.953	TERRENO	-1.495	-0.017082	1.490178
69	1048430.758	955470.256	587.990	TERRENO	-1.473	-0.012373	1.029986
70	1048429.552	955478.241	588.848	CERCA	-2.272	-0.528477	1.943043
71	1048420.863	955478.394	590.972	CERCA	-1.794	-0.071244	2.312003
72	1048422.295	955469.532	590.572	TERRENO	-1.636	-0.011094	1.024753
73	1048423.028	955461.923	590.789	TERRENO	-1.613	-0.023713	0.689128
74	1048423.940	955452.956	590.061	TERRENO	-1.586	-0.008154	0.316875
75	1048424.216	955446.270	588.280	TERRENO	-1.597	0.011183	1.0825
76	1048424.080	955439.305	587.531	TERRENO	-1.626	0.021427	-0.392546
77	1048424.549	955432.397	586.993	TERRENO	-1.583	0.018719	-0.68818
78	1048423.665	955424.269	587.829	LINDERO	-1.590	0.008899	-1.596648
79	1048413.657	955433.496	592.726	TERRENO	-1.650	0.012722	-0.167092
80	1048411.700	955425.947	593.386	LINDERO	-2.540	1.222517	0.428331
81	1048413.319	955442.308	593.431	TERRENO	-1.644	0.027806	-0.27222

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
82	1048413.727	955451.128	593.481	TERRENO	-1.665	-0.012709	0.165255
83	1048413.917	955461.027	593.008	TERRENO	-1.672	-0.019432	0.625969
84	1048429.573	955472.069	588.396	TERRENO	-1.518	-0.017513	1.141276
85	1048429.575	955472.098	588.324	TERRENO	-1.540	-0.023569	1.21858
86	1048418.457	955466.848	591.480	TERRENO	-1.638	-0.023244	0.903592
87	1048413.758	955478.356	593.486	CERCA	-1.641	0.001848	2.261151
88	1048412.039	955468.622	593.209	TERRENO	-1.659	0.002099	0.900706
89	1048412.414	955460.833	593.201	TERRENO	-1.636	-0.014068	0.586282
90	1048412.246	955453.466	593.803	TERRENO	-1.659	0.006496	0.182197
91	1048411.775	955445.005	594.100	TERRENO	-1.647	0.008116	-0.267382
92	1048410.897	955436.788	594.413	TERRENO	-1.626	0.014085	-0.640443
93	1048410.794	955429.853	593.904	TERRENO	-1.647	0.010409	-0.182502
94	1048411.507	955425.796	593.636	LINDERO	-2.460	1.390657	0.141375
95	1048405.344	955426.804	596.479	LINDERO	-1.570	0.01158	-0.240574
96	1048404.942	955433.709	596.517	TERRENO	-1.561	0.020786	-0.485051
97	1048405.497	955443.062	595.950	TERRENO	-1.605	0.025881	-0.325544
98	1048404.350	955451.053	595.874	TERRENO	-1.582	0.012474	0.006009
99	1048404.273	955460.623	595.724	TERRENO	-1.577	-0.015706	0.457926
100	1048403.842	955469.139	596.220	TERRENO	-1.563	-0.018072	1.104636
101	1048403.981	955478.002	597.699	CERCA	-1.281	-0.035795	2.766026
102	1048397.431	955477.969	600.764	CERCA	-1.427	-0.005898	3.213609
103	1048396.354	955469.222	599.725	TERRENO	-1.408	-0.009097	1.597711
104	1048396.143	955460.746	598.428	TERRENO	-1.397	-0.015126	1.177829
105	1048397.940	955452.466	597.748	TERRENO	-1.464	-0.013712	0.282659
106	1048401.427	955442.416	597.079	TERRENO	-1.505	0.014413	-0.373719
107	1048402.564	955434.191	597.388	TERRENO	-1.544	0.015731	-0.808655
108	1048402.550	955427.136	597.677	LINDERO	-1.544	0.015996	-1.143851
109	1048393.206	955428.546	600.682	LINDERO	-1.342	0.020815	-1.144997
110	1048392.364	955436.698	600.439	TERRENO	-1.256	0.017016	-0.719714
111	1048391.192	955444.532	600.129	TERRENO	-1.223	0.009515	-0.338712
112	1048391.114	955452.454	599.954	TERRENO	-1.234	0.000058	0.197397
113	1048392.670	955463.097	600.418	TERRENO	-1.272	-0.024075	1.103871
114	1048391.634	955470.737	602.203	TERRENO	-1.264	-0.006205	2.636741
115	1048391.206	955477.861	603.472	CERCA	-1.858	-0.020006	2.527409
116	1048381.638	955477.487	606.889	CERCA	-1.243	0.033963	3.331807
117	1048383.327	955468.402	605.294	TERRENO	-0.925	0.002042	2.306109
118	1048381.830	955463.766	605.249	TERRENO	-0.868	-0.000313	2.743012
119	1048381.797	955457.400	604.694	TERRENO	-0.852	-0.021578	1.685572

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
120	1048381.853	955452.494	604.257	TERRENO	-0.827	-0.01814	0.339906
121	1048381.323	955447.824	604.192	TERRENO	-0.815	0.002197	0.609003
122	1048381.571	955440.589	603.894	TERRENO	-0.819	0.018161	1.349208
123	1048381.863	955436.700	603.774	TERRENO	-0.835	0.02238	-0.625839
124	1048381.513	955430.140	603.960	LINDERO	-0.825	0.011949	-1.130655
125	1048371.282	955431.730	609.035	LINDERO	-0.178	-0.007519	-0.742308
126	1048372.150	955438.154	608.825	TERRENO	-0.226	0.02144	0.336351
127	1048373.593	955442.497	608.407	TERRENO	-0.323	0.016845	0.612697
128	1048373.787	955448.262	608.198	TERRENO	-0.342	0.001727	1.04645
129	1048374.090	955455.168	608.339	TERRENO	-0.359	-0.0018	1.539397
130	1048375.310	955462.189	608.279	TERRENO	-0.455	-0.014547	2.988659
131	1048376.300	955469.251	608.689	TERRENO	-0.525	-0.003491	2.618547
132	1048376.101	955473.456	609.084	TERRENO	-0.502	-0.015262	2.856464
133	1048365.422	955471.280	613.802	TERRENO	0.359	0.007359	2.456894
134	1048365.690	955462.198	612.437	TERRENO	0.317	-0.013792	2.263143
135	1048366.166	955453.490	611.845	TERRENO	0.265	-0.003698	1.802903
136	1048365.506	955446.788	611.716	TERRENO	0.328	-0.002896	1.397068
137	1048366.349	955440.048	611.309	TERRENO	0.258	0.020627	0.416804
138	1048363.548	955437.910	612.477	TERRENO	0.507	0.025069	0.243259
139	1048297.465	955452.500	642.689	TERRENO	0.724	-0.008176	1.519415
140	1048291.901	955458.398	647.861	PCTL6	0.569	-0.029328	-0.200641
141	1048279.565	955456.792	649.769	LINDERO	0.352	-0.018809	4.01445
142	1048282.714	955449.615	648.272	TERRENO	-0.330	-0.032035	4.444693
143	1048283.558	955445.528	647.994	TERRENO	-1.144	1.328476	6.157867
144	1048283.774	955448.549	647.980	TERRENO	-0.253	-0.71841	5.860397
145	1048282.793	955457.383	648.573	TERRENO	0.455	-0.026325	2.340962
146	1048279.647	955460.452	649.606	LINDERO	0.154	-0.084892	3.636442
147	1048295.110	955459.344	645.000	TERRENO	0.668	-0.006745	1.792269
148	1048294.236	955462.676	645.897	TERRENO	0.618	-0.007327	2.788728
149	1048299.507	955464.270	643.901	TERRENO	0.776	-0.013646	2.328014
150	1048298.144	955454.049	642.673	TERRENO	0.744	0.018009	1.296593
151	1048294.223	955448.103	643.174	TERRENO	0.626	0.005061	3.276755
152	1048290.873	955453.840	645.708	TERRENO	0.574	0.046451	3.916009
153	1048302.848	955447.573	639.836	TERRENO	0.874	0.004453	2.333819
154	1048300.354	955441.991	640.477	LINDERO	1.218	0.056088	2.56662
155	1048303.265	955457.294	640.930	LINDERO	0.888	-0.001328	2.571424
156	1048303.810	955461.936	641.533	TERRENO	0.907	-0.013187	3.469759
157	1048307.235	955467.588	640.619	TERRENO	1.025	-0.021816	3.379649

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
158	1048305.154	955470.443	641.452	LINDERO	0.682	1.103305	2.380936
159	1048316.028	955474.035	636.839	LINDERO	1.574	-0.022832	3.60341
160	1048314.442	955466.226	636.987	TERRENO	1.301	-0.014414	2.491639
161	1048313.844	955459.820	636.591	TERRENO	1.295	0.007174	2.312442
162	1048312.873	955452.359	636.031	TERRENO	1.228	-0.019115	0.881721
163	1048312.804	955450.075	636.033	TERRENO	1.249	-0.008285	1.6445
164	1048311.075	955444.850	635.751	TERRENO	0.618	0.060048	2.59233
165	1048317.438	955448.029	633.257	TERRENO	1.508	0.141315	2.215197
166	1048314.753	955439.791	633.424	LINDERO	1.308	0.023733	1.70808
167	1048318.671	955454.054	633.123	TERRENO	1.504	-0.005598	1.597024
168	1048319.103	955462.535	633.831	TERRENO	1.530	-0.014213	2.491285
169	1048317.748	955470.951	635.722	TERRENO	1.441	-0.012788	2.651987
170	1048326.639	955476.058	631.494	CERCA	1.831	-0.009983	3.035281
171	1048326.838	955468.076	630.204	TERRENO	1.823	-0.002872	2.15411
172	1048325.675	955460.425	629.438	TERRENO	1.783	-0.014664	1.661344
173	1048324.928	955454.734	628.988	TERRENO	1.757	0.003378	1.122345
174	1048325.392	955449.703	628.288	TERRENO	1.786	-0.003936	0.57305
175	1048324.975	955444.305	628.285	TERRENO	1.764	0.007038	0.418766
176	1048323.411	955438.524	628.618	LINDERO	1.721	0.032425	2.587666
177	1048323.612	955440.458	628.651	TERRENO	1.711	0.025564	2.729207
178	1048334.836	955436.721	623.235	LINDERO	1.471	0.042837	4.255053
179	1048334.677	955442.827	624.211	TERRENO	2.035	0.013386	-0.12752
180	1048334.671	955448.048	624.175	TERRENO	2.063	-0.015909	0.334012
181	1048335.318	955453.664	623.522	TERRENO	2.053	-0.0199	0.701829
182	1048335.004	955460.201	623.916	TERRENO	2.030	-0.01049	1.843703
183	1048335.063	955470.688	625.768	TERRENO	2.015	-0.019014	1.866917
184	1048339.058	955476.871	624.439	CERCA	2.021	-0.004511	3.056134
185	1048348.185	955476.798	620.974	CERCA	1.686	-0.006964	2.364876
186	1048347.926	955469.100	619.836	TERRENO	1.759	-0.017133	2.76167
187	1048347.934	955460.488	618.961	TERRENO	1.723	-0.011425	1.65662
188	1048345.318	955454.524	620.086	TERRENO	1.874	-0.006392	1.073554
189	1048344.634	955446.309	620.352	TERRENO	1.900	0.005191	0.034624
190	1048342.851	955435.834	619.825	LINDERO	1.985	0.011433	-0.546493
191	1048351.196	955434.568	616.941	LINDERO	1.570	0.349926	0.042485
192	1048353.782	955441.984	616.665	TERRENO	1.327	0.021784	0.6315
193	1048353.508	955451.476	617.160	TERRENO	1.364	0.018251	0.337652
194	1048348.484	955453.732	618.881	TERRENO	1.731	-0.006628	0.353431
195	1048348.990	955449.903	618.853	PCTL5	1.662	-0.001336	0.043448

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
196	1048353.198	955458.179	617.127	TERRENO	1.390	-0.018737	0.75862
197	1048354.477	955467.572	617.548	TERRENO	1.309	-0.019059	1.821041
198	1048356.621	955476.771	617.962	CERCA	1.109	-0.000583	2.906464
199	1048362.875	955476.868	615.386	CERCA	0.244	0.005878	3.271595
200	1048360.855	955469.758	615.456	TERRENO	0.756	-0.015364	2.143091
201	1048360.006	955463.412	615.326	TERRENO	0.823	-0.039746	1.370695
202	1048360.370	955454.056	614.741	TERRENO	0.795	-0.018975	0.765289
203	1048360.689	955447.885	613.913	TERRENO	0.773	0.0026	1.310787
204	1048359.300	955440.880	614.241	TERRENO	0.874	0.0146	0.990468
205	1048358.080	955433.747	614.149	LINDERO	0.991	0.013393	-0.312034
206	1048367.948	955432.257	610.309	LINDERO	0.105	0.004417	0.094443
207	1048374.669	955477.534	610.100	LINDERO	-0.011	0.056341	2.928083
208	1048481.320	955465.820	564.888	TERRENO	-0.615	-0.023753	-0.125846
211	1048482.451	955458.536	560.573	TERRENO	-2.546	3.87385	5.155962

Anexo C Comparación nube Rpa – Kriging Optimizado

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
1	1048476.05	955473.86	570.50	TERRENO	0.014	0.002	1.373
2	1048478.11	955478.77	569.65	TERRENO	4.501	0.916	2.332
10	1048478.30	955475.64	569.49	CERCA	-0.158	-0.124	1.766
11	1048477.97	955472.29	569.15	CERCA	0.016	-0.002	1.022
12	1048477.82	955468.85	567.80	CERCA	0.012	-0.009	0.742
13	1048477.32	955463.89	565.76	CERCA	0.029	-0.009	-0.090
14	1048474.06	955459.83	566.30	CERCA	0.028	-0.012	-0.299
15	1048470.11	955454.71	567.20	TERRENO	0.016	-0.008	0.234
16	1048464.59	955447.66	567.94	TERRENO	0.132	-0.030	0.209
17	1048460.36	955441.61	565.40	TERRENO	0.066	0.685	2.797
18	1048461.48	955436.41	569.34	LINDERO	0.012	0.010	-2.543
19	1048459.83	955448.07	569.77	TERRENO	0.009	0.002	-1.090
20	1048459.46	955452.95	571.24	TERRENO	0.001	-0.008	-0.470
21	1048464.87	955456.23	570.10	TERRENO	-0.001	-0.010	0.389
22	1048465.60	955461.77	571.78	TERRENO	0.004	-0.011	0.683
23	1048464.98	955465.96	573.56	TERRENO	0.004	-0.010	0.888
24	1048465.56	955470.25	574.21	TERRENO	0.007	-0.005	0.712
25	1048465.55	955475.12	574.89	TERRENO	0.014	-0.001	0.721
26	1048464.15	955479.05	575.71	CERCA	-1.181	-1.815	0.980
27	1048456.98	955479.00	578.38	CERCA	-1.384	-1.957	1.455
28	1048457.57	955473.66	577.58	TERRENO	0.010	-0.003	0.354
29	1048471.11	955479.19	572.94	CERCA	-1.138	-1.515	2.427
30	1048470.52	955472.10	572.45	TERRENO	0.014	-0.004	1.254
31	1048471.34	955467.50	570.40	TERRENO	0.012	-0.008	1.473
32	1048471.72	955462.64	568.73	TERRENO	0.005	-0.015	0.441
33	1048470.11	955457.49	568.07	TERRENO	0.009	-0.012	0.177
34	1048456.98	955466.52	577.74	TERRENO	0.056	0.007	0.771
35	1048456.26	955460.68	576.56	TERRENO	0.005	-0.014	1.189
36	1048455.35	955455.78	574.59	TERRENO	-0.002	-0.009	0.985
37	1048455.01	955450.93	572.48	TERRENO	-0.001	-0.004	0.124
38	1048455.37	955446.32	570.81	TERRENO	0.125	0.009	0.094
39	1048455.09	955447.92	571.48	TERRENO	0.004	0.002	-0.433
40	1048448.23	955445.81	574.57	TERRENO	0.005	0.005	-0.177
41	1048448.23	955445.78	574.58	TERRENO	0.002	0.007	-0.180

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
42	1048448.42	955452.39	576.79	TERRENO	0.000	-0.005	0.777
43	1048450.09	955455.52	577.41	TERRENO	0.002	-0.009	0.829
44	1048449.38	955459.45	579.07	TERRENO	0.004	-0.011	1.320
45	1048450.04	955465.07	580.55	TERRENO	-0.003	-0.013	0.916
46	1048449.78	955472.45	580.55	TERRENO	0.004	-0.002	0.631
47	1048448.77	955478.64	581.13	CERCA	-0.642	-1.449	2.044
48	1048440.30	955478.43	584.66	CERCA	-0.371	-1.331	1.581
49	1048440.05	955471.41	584.15	CERCA	0.001	-0.003	0.898
50	1048439.79	955463.95	583.88	CERCA	-0.003	-0.010	0.613
51	1048440.11	955456.79	582.58	CERCA	-0.007	-0.011	0.073
52	1048440.27	955450.96	580.79	TERRENO	-0.006	-0.003	0.605
53	1048441.30	955446.24	578.86	TERRENO	-0.002	0.006	0.214
54	1048442.11	955439.52	577.45	TERRENO	-0.004	0.017	-1.330
55	1048436.07	955427.84	582.79	LINDERO	-0.003	0.003	-2.513
56	1048435.16	955434.17	581.95	LINDERO	-0.008	0.014	-0.795
57	1048438.03	955432.74	580.47	TERRENO	0.044	0.061	-1.248
58	1048441.62	955432.90	578.28	TERRENO	-0.004	0.015	-2.025
59	1048444.69	955433.15	577.19	TERRENO	-0.140	0.037	-2.331
60	1048457.59	955434.94	571.39	TERRENO	0.100	-0.029	-1.333
61	1048438.62	955435.63	579.94	TERRENO	-0.003	0.012	-1.936
62	1048438.43	955439.92	579.82	TERRENO	0.002	0.010	-0.888
63	1048435.14	955443.82	581.77	TERRENO	-0.004	0.014	0.186
64	1048434.79	955438.30	582.06	TERRENO	-0.005	0.017	-0.663
65	1048434.13	955449.84	583.42	TERRENO	-0.004	-0.003	0.443
66	1048431.03	955453.36	585.80	TERRENO	-0.007	-0.007	2.592
67	1048431.66	955457.37	586.55	TERRENO	-0.010	-0.011	1.235
68	1048431.82	955462.29	586.95	TERRENO	-0.007	-0.014	0.994
69	1048430.76	955470.26	587.99	TERRENO	0.003	-0.007	0.537
70	1048429.55	955478.24	588.85	CERCA	0.278	-0.013	1.269
71	1048420.86	955478.39	590.97	CERCA	0.000	-0.027	1.781
72	1048422.30	955469.53	590.57	TERRENO	-0.007	-0.006	0.528
73	1048423.03	955461.92	590.79	TERRENO	-0.005	-0.014	0.193
74	1048423.94	955452.96	590.06	TERRENO	-0.002	-0.007	-0.178
75	1048424.22	955446.27	588.28	TERRENO	-0.005	0.006	0.587
76	1048424.08	955439.31	587.53	TERRENO	-0.011	0.016	-0.891
77	1048424.55	955432.40	586.99	TERRENO	-0.003	0.010	-1.185
78	1048423.67	955424.27	587.83	LINDERO	-0.003	0.003	-2.092
79	1048413.66	955433.50	592.73	TERRENO	-0.009	0.010	-0.663

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
80	1048411.70	955425.95	593.39	LINDERO	-0.638	1.679	-0.432
81	1048413.32	955442.31	593.43	TERRENO	-0.008	0.015	-0.769
82	1048413.73	955451.13	593.48	TERRENO	-0.011	-0.005	-0.332
83	1048413.92	955461.03	593.01	TERRENO	-0.011	-0.014	0.128
84	1048429.57	955472.07	588.40	TERRENO	-0.002	-0.006	0.646
85	1048429.58	955472.10	588.32	TERRENO	-0.007	-0.007	0.722
86	1048418.46	955466.85	591.48	TERRENO	-0.005	-0.011	0.407
87	1048413.76	955478.36	593.49	CERCA	-0.006	0.001	1.761
88	1048412.04	955468.62	593.21	TERRENO	-0.010	-0.005	0.402
89	1048412.41	955460.83	593.20	TERRENO	-0.006	-0.013	0.090
90	1048412.25	955453.47	593.80	TERRENO	-0.009	-0.005	-0.316
91	1048411.78	955445.01	594.10	TERRENO	-0.008	0.007	-0.765
92	1048410.90	955436.79	594.41	TERRENO	-0.007	0.013	-1.136
93	1048410.79	955429.85	593.90	TERRENO	-0.010	0.005	-0.680
94	1048411.51	955425.80	593.64	LINDERO	-0.639	2.105	-0.712
95	1048405.34	955426.80	596.48	LINDERO	-0.006	0.005	-0.741
96	1048404.94	955433.71	596.52	TERRENO	-0.005	0.013	-0.984
97	1048405.50	955443.06	595.95	TERRENO	-0.015	0.013	-0.826
98	1048404.35	955451.05	595.87	TERRENO	-0.012	-0.001	-0.495
99	1048404.27	955460.62	595.72	TERRENO	-0.012	-0.014	-0.043
100	1048403.84	955469.14	596.22	TERRENO	-0.011	-0.011	0.601
101	1048403.98	955478.00	597.70	CERCA	0.130	0.073	2.256
102	1048397.43	955477.97	600.76	CERCA	-0.011	-0.004	2.638
103	1048396.35	955469.22	599.73	TERRENO	-0.013	-0.009	1.058
104	1048396.14	955460.75	598.43	TERRENO	-0.011	-0.014	0.658
105	1048397.94	955452.47	597.75	TERRENO	-0.012	-0.007	-0.227
106	1048401.43	955442.42	597.08	TERRENO	-0.006	0.011	-0.876
107	1048402.56	955434.19	597.39	TERRENO	-0.011	0.011	-1.311
108	1048402.55	955427.14	597.68	LINDERO	-0.013	0.007	-1.646
109	1048393.21	955428.55	600.68	LINDERO	-0.019	0.009	-1.666
110	1048392.36	955436.70	600.44	TERRENO	-0.003	0.012	-1.241
111	1048391.19	955444.53	600.13	TERRENO	-0.004	0.009	-0.860
112	1048391.11	955452.45	599.95	TERRENO	-0.008	-0.005	-0.328
113	1048392.67	955463.10	600.42	TERRENO	-0.006	-0.015	0.564
114	1048391.63	955470.74	602.20	TERRENO	-0.012	-0.006	2.047
115	1048391.21	955477.86	603.47	CERCA	0.262	0.300	1.780
116	1048381.64	955477.49	606.89	CERCA	0.033	0.132	2.359
117	1048383.33	955468.40	605.29	TERRENO	-0.012	-0.007	1.685

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
118	1048381.83	955463.77	605.25	TERRENO	-0.007	-0.005	2.111
119	1048381.80	955457.40	604.69	TERRENO	-0.012	-0.013	1.077
120	1048381.85	955452.49	604.26	TERRENO	-0.005	-0.008	-0.245
121	1048381.32	955447.82	604.19	TERRENO	-0.010	0.003	0.020
122	1048381.57	955440.59	603.89	TERRENO	-0.007	0.015	0.755
123	1048381.86	955436.70	603.77	TERRENO	-0.007	0.016	-1.189
124	1048381.51	955430.14	603.96	LINDERO	-0.009	0.008	-1.690
125	1048371.28	955431.73	609.04	LINDERO	-0.014	0.006	-1.367
126	1048372.15	955438.15	608.83	TERRENO	-0.009	0.016	-0.286
127	1048373.59	955442.50	608.41	TERRENO	-0.007	0.014	-0.009
128	1048373.79	955448.26	608.20	TERRENO	-0.008	0.001	0.426
129	1048374.09	955455.17	608.34	TERRENO	-0.006	-0.008	0.925
130	1048375.31	955462.19	608.28	TERRENO	-0.011	-0.014	2.398
131	1048376.30	955469.25	608.69	TERRENO	-0.011	-0.007	2.029
132	1048376.10	955473.46	609.08	TERRENO	-0.008	-0.005	2.288
133	1048365.42	955471.28	613.80	TERRENO	0.005	-0.002	2.162
134	1048365.69	955462.20	612.44	TERRENO	0.000	-0.014	1.840
135	1048366.17	955453.49	611.85	TERRENO	-0.003	-0.007	1.311
136	1048365.51	955446.79	611.72	TERRENO	-0.001	0.003	0.878
137	1048366.35	955440.05	611.31	TERRENO	-0.001	0.018	-0.159
138	1048363.55	955437.91	612.48	TERRENO	0.002	0.017	-0.294
139	1048297.47	955452.50	642.69	TERRENO	0.005	-0.007	1.873
140	1048291.90	955458.40	647.86	PCTL6	-0.012	-0.015	0.050
141	1048279.57	955456.79	649.77	LINDERO	-0.065	-0.009	4.142
142	1048282.71	955449.62	648.27	TERRENO	-0.489	0.029	4.065
143	1048283.56	955445.53	647.99	TERRENO	0.210	1.605	6.190
144	1048283.77	955448.55	647.98	TERRENO	0.780	0.091	6.736
145	1048282.79	955457.38	648.57	TERRENO	0.005	-0.017	2.522
146	1048279.65	955460.45	649.61	LINDERO	-0.358	-0.043	3.885
147	1048295.11	955459.34	645.00	TERRENO	0.001	-0.012	2.065
148	1048294.24	955462.68	645.90	TERRENO	-0.011	-0.011	3.015
149	1048299.51	955464.27	643.90	TERRENO	-0.002	-0.012	2.617
150	1048298.14	955454.05	642.67	TERRENO	-0.002	-0.004	1.657
151	1048294.22	955448.10	643.17	TERRENO	-0.005	0.003	3.557
152	1048290.87	955453.84	645.71	TERRENO	-0.067	-0.006	4.117
153	1048302.85	955447.57	639.84	TERRENO	-0.001	0.003	2.759
154	1048300.35	955441.99	640.48	LINDERO	0.172	0.050	3.044
155	1048303.27	955457.29	640.93	LINDERO	-0.002	-0.010	2.946

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
156	1048303.81	955461.94	641.53	TERRENO	0.003	-0.014	3.796
157	1048307.24	955467.59	640.62	TERRENO	-0.254	0.055	3.709
158	1048305.15	955470.44	641.45	LINDERO	0.335	0.218	2.811
159	1048316.03	955474.04	636.84	LINDERO	0.073	0.002	4.153
160	1048314.44	955466.23	636.99	TERRENO	0.002	-0.011	3.021
161	1048313.84	955459.82	636.59	TERRENO	0.003	-0.010	2.865
162	1048312.87	955452.36	636.03	TERRENO	0.001	-0.008	1.512
163	1048312.80	955450.08	636.03	TERRENO	0.009	-0.003	2.246
164	1048311.08	955444.85	635.75	TERRENO	-0.516	0.255	3.063
165	1048317.44	955448.03	633.26	TERRENO	-0.057	-0.006	2.838
166	1048314.75	955439.79	633.42	LINDERO	0.002	0.017	2.401
167	1048318.67	955454.05	633.12	TERRENO	0.010	-0.008	2.306
168	1048319.10	955462.54	633.83	TERRENO	0.013	-0.014	3.146
169	1048317.75	955470.95	635.72	TERRENO	0.005	-0.009	3.224
170	1048326.64	955476.06	631.49	CERCA	0.014	-0.004	3.750
171	1048326.84	955468.08	630.20	TERRENO	0.010	-0.009	2.919
172	1048325.68	955460.43	629.44	TERRENO	0.011	-0.014	2.441
173	1048324.93	955454.73	628.99	TERRENO	0.009	-0.007	1.903
174	1048325.39	955449.70	628.29	TERRENO	0.015	-0.001	1.340
175	1048324.98	955444.31	628.29	TERRENO	0.012	0.010	1.181
176	1048323.41	955438.52	628.62	LINDERO	0.012	0.017	3.371
177	1048323.61	955440.46	628.65	TERRENO	0.010	0.016	3.508
178	1048334.84	955436.72	623.24	LINDERO	-0.392	-0.194	4.987
179	1048334.68	955442.83	624.21	TERRENO	0.023	0.014	0.391
180	1048334.67	955448.05	624.18	TERRENO	0.023	-0.001	0.889
181	1048335.32	955453.66	623.52	TERRENO	0.018	-0.009	1.234
182	1048335.00	955460.20	623.92	TERRENO	0.017	-0.013	2.486
183	1048335.06	955470.69	625.77	TERRENO	0.015	-0.008	2.598
184	1048339.06	955476.87	624.44	CERCA	0.019	-0.003	3.781
185	1048348.19	955476.80	620.97	CERCA	-0.010	0.045	2.807
186	1048347.93	955469.10	619.84	TERRENO	0.028	-0.011	3.146
187	1048347.93	955460.49	618.96	TERRENO	0.017	-0.013	1.824
188	1048345.32	955454.52	620.09	TERRENO	0.022	-0.008	1.302
189	1048344.63	955446.31	620.35	TERRENO	0.024	0.006	0.178
190	1048342.85	955435.83	619.83	LINDERO	0.027	0.012	-0.527
191	1048351.20	955434.57	616.94	LINDERO	0.015	0.088	-0.175
192	1048353.78	955441.98	616.67	TERRENO	0.010	0.014	0.434
193	1048353.51	955451.48	617.16	TERRENO	0.016	-0.001	0.161

ID	Este RTK	Norte RTK	Elevación RTK	Descripción	Error Este	Error Norte	Error Elevación
194	1048348.48	955453.73	618.88	TERRENO	0.028	-0.008	0.368
195	1048348.99	955449.90	618.85	PCTL5	0.016	-0.002	0.017
196	1048353.20	955458.18	617.13	TERRENO	0.015	-0.013	0.623
197	1048354.48	955467.57	617.55	TERRENO	0.020	-0.012	1.849
198	1048356.62	955476.77	617.96	CERCA	0.009	-0.002	3.102
199	1048362.88	955476.87	615.39	CERCA	-0.063	0.095	3.119
200	1048360.86	955469.76	615.46	TERRENO	0.008	-0.008	1.978
201	1048360.01	955463.41	615.33	TERRENO	0.007	-0.018	1.117
202	1048360.37	955454.06	614.74	TERRENO	0.008	-0.011	0.404
203	1048360.69	955447.89	613.91	TERRENO	0.010	0.003	0.928
204	1048359.30	955440.88	614.24	TERRENO	0.005	0.013	0.606
205	1048358.08	955433.75	614.15	LINDERO	0.009	0.012	-0.792
206	1048367.95	955432.26	610.31	LINDERO	-0.008	0.009	-0.517
207	1048374.67	955477.53	610.10	LINDERO	0.081	0.410	2.492
208	1048481.32	955465.82	564.89	TERRENO	0.017	-0.011	-0.434
211	1048482.45	955458.54	560.57	TERRENO	-13.301	-0.402	4.370

CONCLUSIONES

Al comparar la información recopilada en campo con el sistema RTK y la obtenida mediante el con la nube de puntos del RPAS aplicando el método de predicción de Kriging sin corrección, se obtuvieron precisiones submétricas en coordenadas Norte y Este y Métrica en elevación; optimizando el modelo de predicción de Kriging se obtienen mejores precisiones llegando a valores decimétricos para las coordenadas Norte y Este y Submétricas para la Elevación.

Observando los promedios obtenidos podemos decir que para lograr similitud a las coordenadas reales obtenidas mediante el sistema RTK es necesario realizar una optimización a la información del sistema RPAS, los valores en X y Y son confiables y se pueden utilizar para trabajos que solo necesiten información de posición, como lo son georreferenciaciones catastrales, mediciones de área y actualización cartográfica, pero el valor en elevación aún después de dicho proceso no es confiable.

Los Modelos digitales de Terreno, las curvas de nivel y los perfiles aunque tienen similitud el uno con el otro, la gran cantidad de puntos que se originan con el sistema RPAS genera distorsión en la información, ya que es muy difícil discriminar los puntos de vegetación con los puntos de terreno, pero así mismo la falta de información que también se genera por causa de la vegetación de gran follaje provoca que la información resulte sesgada y no obtengamos los resultados esperados.

La información obtenida con los RPAS se puede utilizar para realizar trabajos de georreferenciación, donde podemos omitir la elevación, ya que los resultados obtenidos en las coordenadas Este y Norte tienen un muy buen promedio comparado con lo obtenido con el sistema RTK; esto nos permite proyectar en una amplia gama de aplicaciones para este sistema que incursiona fuertemente en el país.

RECOMENDACIONES

Utilizar RPA para trabajos de topografía requiere que tanto el proveedor como el usuario tengan un conocimiento básico acerca de las precisiones que pueden llegar a obtenerse utilizando este tipo de equipos, ya que se puede incurrir en engaños. La mala calidad de los datos en la información tomada sin los ajustes necesarios, implica que más adelante se evidencien errores que pueden resultar costosos y perjudiciales tanto para el usuario final como para el medio ambiente.

Cuando existan zonas de vegetación de gran follaje, pastos altos, o terreno inclinado con bosque de galería, la información que se captura con el sistema RPAS, no permite la obtención de los puntos de terreno confiables para la generación de un modelo digital de terreno ya que se generan vacíos de información y aunque se mejore el proceso con los modelos de predicción, estos no permiten obtener buenos resultados en estos espacios; es por esto que se debe complementar la información mediante la aplicación de otro sistema, como es el RTK, o Nivelación Trigonométrica con Estación Total.

Se evidencio que las precisiones en terrenos libre de vegetación generan un alto grado de confiabilidad en X, Y y Z, por lo que es factible la utilización de este tipo de equipos para proyectos de agricultura, minería a cielo abierto, siempre y cuando se tomen las medidas pertinentes como son: la ubicación de puntos de control suficientes localizados homogéneamente sobre el terreno, con equipos GPS de precisiones submétricas aplicando método estático o RTK.

Bibliografía

- Civil, A. (07 de Julio de 2015). *CIRCULAR REGLAMENTARIA N° 002 "Requisitos Generales de Aeronavegabilidad y Operaciones para RAPS (Numeral 4.25.8.2)*. Obtenido de www.aerocivil.gov.co:
<http://www.aerocivil.gov.co/Lists/Noticias%20Internet/Attachments/197/CIRCULAR%20REGLAMENTARIA%20%20002%20-%20RAPS.pdf>
- DJI. (s.f.). *Mavic Pro*. Obtenido de <http://www.dji.com/mavic/info#specs/>
- Facultad de Ingenieria, U. N. (s.f.).
<http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/fotom.pdf>.
 Obtenido de
<http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/fotom.pdf>
- Farjas, M. (s.f.). http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_GPS_Tema_12.pdf.
- IGAC. (s.f.). *Geoportal*. Obtenido de
<http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=17>
- Instituto Geografico Agustin Codazzi. (2004). *Adopcion Del Marco Geocentrico Nacional De Referencia MAGNA - SIRGAS Como Datum Oficial De Colombia*. Bogotá: Subdirección de Geografía y Cartografía.
- Mequetrefe. (7 de Diciembre de 2012). *Geoide, GPS*. Obtenido de
<http://detopografia.blogspot.com.co/2012/12/el-problema-de-la-altura-en-gps.html>
- Mequetrefe. (07 de Marzo de 2013). *Conceptos Fundamentales Topografía, Geodesia, Cartografía V*. Obtenido de <http://detopografia.blogspot.com.co/2013/03/conceptos-fundamentales-topografia.html>

MundoGeo. (2000). <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/posicionamiento-en-tiempo-real-con-gps-rtk/>. *MundoGeo*.

Na.ssl-Images-Amazon. (s.f.). *Amazon*. Obtenido de https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51tXA-m1L4L._SX355_.jpg

Nordeste, U. N. (s.f.). *Facultad de Ingenieria - Centro de Geociencias Aplicadas*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte01/fotom.pdf>

OACI. (s.f.). *Organización de Aviación Civil Internacional*. Recuperado el 10 de SEPTIEMBRE de 2016, de Organización de Aviación Civil Internacional:

http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_es.pdf

Sensefly. (s.f.). *Sensefly*. Obtenido de <https://www.sensefly.com/drones/ebee-plus.html>

TOPCON. (s.f.). *TOPCON*. Recuperado el 10 de SEPTIEMBRE de 2016, de TOPCON:

https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/sirius_solutions_catalog_7010_2162_revb_sm_0.pdf

Torres, a., & Villate, A. (1968). *Topografía*. Bogotá: Norma.

TRIMBLE. (s.f.). *UAS TRIMBLE*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de UAS

TRIMBLE: <http://uas.trimble.com/specifications>