

**COMPARACIÓN DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS GNSS (RTK) Y
FOTOGRAMÉTRICO (RPAS) EN LA FINCA VILLA MARÍA, PLANETA RICA-
CÓRDOBA**

ANDRÉS ELÍAS BUELVAS PACHECO

MARIA CALINERIA DORIA SILVA

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2022

Resumen

En esta investigación se lleva a cabo el levantamiento topográfico con dos métodos, con el objeto de realizar una comparación de los datos obtenidos en el levantamiento GNSS (RTK) y el fotogramétrico (RPAS) en la finca Villa María, Planeta Rica-Córdoba.

Para el cumplimiento de la investigación se tiene unos objetivos los cuales describen los parámetros técnicos para levantamiento topográfico a realizar (RTK, RPAS); la comparación de resultados en MDT y además ventajas y desventajas que ofrece cada método en el terreno investigado. Se realiza una comparación de MDT en un predio rural con relieve poco elevado, poca presencia de árboles, la cual permite llegar a analizar ventajas y desventajas para las necesidades del propietario.

Para identificar las diferencias entre modelos se crean tres perfiles topográficos y en la misma posición, generando mejores resultados con respecto a similitud en la representación del terreno en el modelo empleado por fotogrametría, esto debido a que la nube de puntos es más densa que la obtenida con el RTK. Pero se evidenció que es necesario que los métodos se complementen donde se hace difícil identificar el perímetro del predio por la presencia de árboles, y así obtener muy buenos resultados.

Palabras clave: (Levantamiento topográfico, RTK, RPAS)

Abstract

In this research, the topographical survey is carried out with two methods, in order to make a comparison of the data obtained in the GNSS (RTK) and the photogrammetric survey (RPAS) in the Villa Maria farm, Planeta Rica-Córdoba.

For the fulfillment of the investigation, there are some objectives which describe the technical for parameters for the topographical survey to be carried out (RTK, RPAS); the comparison of results in MDT and also advantages and disadvantages offered by each method in the field investigated. A comparison of MDT is made in a rural property with low relief, little presence of trees, which allows to analyze advantages and disadvantages for the needs of the owner.

To identify the differences between models, three topographic profiles are created and in the same position, generating better results with respect to similarity in the representation of the terrain in the model used by photogrammetry, this is the fact that the cloud of points is denser than the one obtained with the RTK. But it was evidenced that it is necessary that the methods complement each other where it is difficult to identify the perimeter of the property due to the presence of trees, and thus obtain very good results.

Keywords: (Topographic survey, RTK, RPAS).

Tabla de Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.....	7
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA	8
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.3 JUSTIFICACIÓN	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1.1 <i>Objetivo General</i>	12
2.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
3. ANTECEDENTES	13
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL.....	19
5. REFERENTE TEÓRICO	27
6. METODOLOGÍA	34
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	34
6.2 TIPO DE ESTUDIO	35
6.3 PROCEDIMIENTO	35
6.4 FASES O ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.	35
6.4.1 <i>Fase 1. Revisión De Las Especificaciones Técnicas, Enmarcadas En La Normatividad Colombiana Para Levantamientos Topográficos.</i>	36
6.5 FASE 2. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO	40
6.5.1 <i>Levantamiento De La Información En Terreno Con Equipos GNSS</i>	40
6.5.2 <i>Levantamiento De Puntos De Fotocontrol Con Ayuda De Sistema De Aeronaves Pilotadas A Distancia RPAS</i>	48
7. RESULTADOS	60
8. CONCLUSIONES.....	70
9. RECOMENDACIONES.....	71
10. REFERENCIAS.....	73

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Cálculo tiempo de observación GNSS con doble determinación.....	37
Figura 2. Ubicación de Punto topográfico Base - PTB en el área de estudio.....	39
Figura 3. Imágenes de posicionamiento de PTB	43
Figura 4. Imágenes de vértices lindero	45
Figura 5. Imagen de puntos Recolectados en RTK	47
Figura 6. Ubicación de puntos fotocontrol e imagen de posicionamiento.....	49
Figura 7. Parámetros de sobrevuelo – software DJI GS Pro	52
Figura 8. PTB-1 y las líneas bases a cada punto de fotocontrol	54
Figura 9. Visualización nube de puntos densa.....	55
Figura 10. Visualización en PIX4D de los tres pasos realizados.....	56
Figura 11. Visualización de perfiles topográficos	57
Figura 12. Modelos Digitales de Terreno	58
Figura 13. Mapa de localización y Perfil topográfico 1	60
Figura 14. Mapa de localización y Perfil topográfico 2	62
Figura 15. <i>Mapa de localización y Perfil topográfico 3</i>	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Equipo GNSS E-SURVEY E600	41
Tabla 2. <i>Equipo GNSS E-SURVEY E300PRO</i>	42
Tabla 3. Coordenadas puntos PTB.....	44
Tabla 4. Coordenadas vértices linderos	46
Tabla 5. Coordenadas puntos fotocontrol	49
Tabla 6. Especificaciones de la misión de vuelo	50
Tabla 7. Especificaciones de la Cámara.....	51
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los levantamientos topográficos con el método RTK.....	67
Tabla 9. Ventajas y desventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS.....	68

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

En la superficie terrestre se encuentran diferentes tipos de relieves (planas, colinas, depresión, ladera, entre otros), para poder visualizarlas mejor deben ser representadas en un plano. “La topografía tiene por objeto medir extensiones de tierra, tomando los datos necesarios para poder representar sobre un plano, a escala, su forma y accidentes” (Torres & Villate,1968).

La topografía en la actualidad ha tenido cambios en instrumentos tecnológicos que se utilizan como (GPS, RPAS, Escáner) los cuales permiten realizar las mediciones en el terreno de forma directa o indirecta y agilizar la manera como se trabaja para lograr el objetivo de la medición.

Referente a la labor de un profesional que se dedique al estudio de las mediciones de la superficie terrestre, es el primer insumo para empezar trabajos de edificaciones, loteos, replanteos entre otros, los cuales servirán para otros profesionales avanzar e implementar sus respectivos estudios.

Con la llegada de los nuevos equipos de trabajo para la realización de mediciones en el terreno se quiere optimizar recursos, tiempo y obtener calidad en los productos desarrollados, por consiguiente en la presente investigación se quiere realizar una comparativa de métodos implementados con diferentes equipos tecnológicos y sacar conclusiones de mejor representación del terreno, o si se deben combinar los dos métodos, además ventajas y desventajas de la implementación de cada uno para obtener

resultados exitosos.

1.1 Descripción Del Área Problemática

Los levantamientos topográficos son útiles para conocer el terreno, sus formas, características y poder representarla de forma gráfica en planos, los cuales se usan como insumos para la toma de decisiones. Esta técnica ha tenido avances actualmente, surgiendo mejores equipos que hacen posible la realización de mediciones de forma indirecta y rápida en el terreno, además se alcanzan resultados confiables los cuales son indispensables para el profesional analizar y llevar a cabo las diferentes temáticas para la cual fueron realizadas.

El desarrollo de levantamientos topográficos con métodos ópticos (estación total) o Equipos con Sistema Global de Navegación por Satélite - GNSS (Global Navigation Satellite System) se logran mediciones de gran precisión, sin embargo, las jornadas de trabajo son más largas en comparación con los levantamientos realizados con Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia - RPAS (Remotely Piloted Aircrafts) , además se puede presentar situaciones donde no es posible llegar a la zona o sitio donde se debe realizar el levantamiento, por dificultades para acceder a estos, generando vacíos en la captura de la información en campo, por tal razón, con la asociación de equipos como los RPAS se tiene un complemento adecuado donde el uso de la fotogrametría ayuda a optimizar los tiempos y costos económicos.

La solicitud de información topográfica es amplia, ya que cualquier trabajo

como, mediciones urbanísticas y rurales, replanteo, deslindes, trazado de vías, amojonamiento de puntos, segregaciones, entre otras, necesita ser representado y georreferenciado en plano, por lo cual debe realizarse con equipos de calidad y precisión.

El Municipio de Planeta Rica está ubicado en el departamento de Córdoba, presenta un relieve en su mayoría plano, pero con pequeñas colinas, el área donde se desarrollará la investigación es la finca Villa María la cual podrá permitir el desarrollo de está, logrando realizar la comparación de resultados con equipos GNSS(RTK) y equipo RPAS en perfiles topográficos de los MDT elaborados, donde se pueda analizar similitudes y diferencias en el terreno, además verificar si es necesario el empleo de un solo método o deben estar los dos para el mejor cumplimiento del trabajo topográfico.

1.2 Formulación Del Problema

“La topografía sirve como base para la mayoría de los trabajos de ingeniería, pues la elaboración de un proyecto se hace una vez se tengan los datos y planos topográficos que representan fielmente todos los accidentes del terreno sobre el cual se va a construir la obra”. (Torres & Villate,1968).

Hoy día la aplicación de técnicas e instrumentos topográficos han cambiado considerablemente permitiendo realizar mediciones directas e indirectas sobre el terreno, ayudando ya sea de manera rápida y eficiente con resultados confiables, los cuales serán necesarios para la implementación del estudio del terreno a estudiar.

Continuando con lo anterior se hace necesario realizar una comparación de los levantamientos topográficos GNSS (RTK) y fotogramétrico (RPAS) para analizar cuál de los dos métodos es más preciso en similitud del terreno o por el contrario deben estar combinadas para llegar a un desarrollo confiable y excelente, además identificar ventajas y desventajas de los mismos, todo esto realizado en la finca Villa María, perteneciente al Municipio de Planeta Rica en el departamento de Córdoba.

1.3 Justificación

En las actividades de campo para los procesos de levantamiento de información, es necesario asegurar la calidad y confiabilidad de los datos para los siguientes procesos en el levantamiento como tal.

El estudio del terreno de un lugar debe ser el primer análisis que se tenga en cuenta para la ejecución de cada proyecto ya que a partir de ello se pueden tomar decisiones de ejecutar o no alguna obra civil u otro escenario; por consiguiente, hay que realizar buena elección de equipos y establecer la técnica adecuada.

En Colombia la ejecución de levantamientos topográficos es realizado con diferentes equipos, y manejada por diferentes actores tanto gubernamentales como privados, lo cual está tomando mucha fuerza el levantamiento fotogramétrico realizado con equipos RPAS, esto es muy importante porque se avanza en técnicas de medición y

desarrollo de las mismas.

Referente a lo anterior se hará una comparación de precisiones en los diferentes métodos de levantamiento, tomando como referencia perfiles topográficos de los MDT desarrollados, y así lograr definir que método es más efectivo en las diferentes zonas de relieve del área de estudio, esto ayudará al propietario del predio solucionar las diferentes necesidades que presenta, dependiendo del tipo de relieve que se evidencie y organizar bien el espacio con las actividades que tenga.

2. Objetivos

A continuación, se define el objetivo general y luego los objetivos específicos que permiten abordar la problemática:

2.1.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de un levantamiento topográfico convencional realizado con receptores GNSS (RTK) y uno fotogramétrico realizado por una aeronave pilotada a distancia (RPAS) en la finca Villa María, Planeta Rica-Córdoba.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Describir los parámetros técnicos a tener en cuenta para los diferentes métodos de levantamiento topográfico a realizar (RTK, RPAS).
- Realizar la comparación de datos obtenidos por medio de perfiles topográficos en los MDT generados por los levantamientos, para identificar similitudes con la realidad del terreno.
- Identificar las ventajas y desventajas que ofrece cada método al implementarse en diferentes relieves de la zona de estudio.

3. Antecedentes

Existen diversos estudios que resultan relevantes para esta temática. Para el presente año, destacan el estudio que llevó a cabo Vecchi et. Al. (2021) Donde a partir de las técnicas GNSS en tiempo real y la fotogrametría de UAV se monitoreo las playas de arena en el litoral de Emilia-Romagna, realizando una comparación entre los dos métodos de levantamiento en términos de diferencias de altura puntuales, formas del perfil a lo largo de secciones definidas y variaciones de volumen a lo largo del tiempo. Los resultados mostraron que la menor resolución espacial que presenta el GNSS en contraste con el fotogramétrico no impacta considerablemente en los volúmenes si el terreno es casi plano. Esto llevó también a concluir que cualquiera que llegue a ser la técnica que se utilice siempre que sea para análisis costero, llevar a cabo una georreferenciación absoluta cuidadosa es un requisito indispensable para realizar comparaciones multitemporales correctas.

En el campo de la agricultura los RPAS se han convertido en una herramienta importante para adquirir información georreferenciada. Pérez et. Al. (2021) realizó la evaluación de un prototipo de RPAS para el levantamiento topográfico, a partir de imágenes RGB georreferenciadas, incluyendo puntos de control en tierra, en el área del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México, cubriendo un área de 2151 m² (0.23 ha). En el estudio se minimizaron los errores en la altura geodésica a partir de puntos de control en tierra para la generación del MDE. El estudio arrojó que el 85% de los datos obtenidos presentaron errores menores a 0,033 por lo que se puede considerar como una alternativa para realizar los levantamientos

topográficos de terrenos agrícolas.

“Eficiencia del uso de GNSS-PPP para la producción de modelos digitales de elevación (DEM)” es un estudio del año 2020 realizado por Ashraf et. al. Donde a partir de la técnica de posicionamiento preciso de puntos (PPP); que a su vez hace parte de los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) para calcular posiciones precisas utilizando un solo receptor GNSS se busca evaluar la eficiencia del uso de PPP cinemática postprocesada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y GPS / Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) para la producción de modelos digitales de elevación (DEM).

Los sistemas UAV han permitido la generación de (DEM), ortomosaicos y productos cartográficos, lo que los ha consolidado como una herramienta alternativa en el ordenamiento del suelo o el estudio de una determinada zona. Santecchia et. al. (2020) realizaron dos (DEM), uno a través de datos obtenidos con un UAV y el otro a través de datos tomados con un receptor GPS/GNSS (Global Position System - Global Navigation Satellite System). Y el objetivo fue comparar los resultados de ambas tecnologías y determinar la precisión de los productos generados. Se obtuvo que ambas tecnologías pueden ser eficientes dependiendo del objetivo del trabajo. Cuando la superficie a relevar presenta una pendiente uniforme, con ambos instrumentos se puede alcanzar similares resultados, pero cuando la superficie a relevar presenta depresiones o zonas elevadas, se alcanzan resultados distintos. El DEM obtenido con el UAV se adapta mejor a la topografía del terreno estudiado.

La fotogrametría es útil para estudios topográficos en diversos campos de estudio. Uno de ellos es la construcción civil. Mendes y Maia, (2020) fundamentan su estudio en el hecho de que el uso de vehículos aéreos no tripulados facilita la obtención de datos de grandes áreas. En su estudio buscan evaluar la aplicación de técnicas de aerofotogrametría y compararlas con métodos convencionales. Arrojando que, en comparación con la estación total, el uso de aerofotogrametría en levantamientos topográficos tiende a ser más práctico y ágil en áreas más grandes.

Fernández (2020) a su vez aplica la técnica Fotogramétrica Structure From Motion en un levantamiento topográfico mediante una RPA en un área de 3600 metros cuadrados. Por medio de la misma mediante el software Agisoft se creó un modelo tridimensional, para luego generar la nube de puntos densa y el modelo digital de elevación. Finalmente se obtuvieron medidas básicas como perímetro, área y volumen.

Otro estudio comparativo significativo fue el de Mallma (2020). Se analizó el método fotogramétrico frente al convencional para el levantamiento Topográfico de la Av. Ferrocarril – Pachacamac, concluyendo que ambos métodos tienen similares precisiones. En cuanto a la eficiencia el método fotogramétrico es mejor en cuanto a tiempo y costo. Por último, en cuanto a calidad de productos digitales la fotogrametría tiene ventaja ya que genera mayor cantidad de puntos topográficos y consecuentemente mayor detalle de relieve e información en los planos finales. Estudio de tesis parecido al de Pedraza (2019), donde se evaluaron los mismos factores y se concluye también sobre las notables diferencias en el tiempo que lleva ejecutar el trabajo, así como los costos de

operaciones que implica realizarlas.

En la Universidad de Cundinamarca seccional Ubaté debido a la falta de topográfica de la misma, Avellaneda (2019), a partir de equipos GPS de doble frecuencia para la información asignación de coordenadas ligadas al IGAC, una estación total y un sobrevuelo con un vehículo aéreo no tripulado VANT o Dron; se generaron salidas gráficas y la Ortofoto, que cumplen una función de apoyo en las decisiones futuras de la institución. Todo lo anterior bajo los requisitos de la Resolución 643 del 30 de mayo del 2018 dada por el IGAC para la georreferenciación en un levantamiento topográfico convencional o no convencional.

Para el año 2018 se destacan estudios como el de Martínez, el de Beretta et. al. Donde se resalta que en comparación con la topografía tradicional y quizás con técnicas modernas como el escaneo láser, la fotogrametría aérea es más económica, proporciona una adquisición y procesamiento de datos más rápidos y genera varios productos de alta calidad y un nivel impresionante de detalles en los resultados.

Florentino (2017), en su trabajo de grado “Aplicación de fotogrametría con RPAS para mejorar la efectividad en cuantificación de la explotación de la cantera Santa Genoveva- 2016” donde se comprobó que es 179% más eficiente el método fotogramétrico con respecto al método de levantamiento convencional. Y en términos económicos hubo un ahorro de 39% usando el método fotogramétrico mediante Drones.

Hoy en día la información que se puede obtener de los sistemas GNSS, permite una variada cantidad de aplicaciones, desde la navegación de vehículos hasta diferentes estudios relacionados con la dinámica terrestre. (Moya y Bastos 2015) en su investigación llegaron a determinar que el uso de procesamiento GNSS en línea es útil para ser utilizada en tareas clásicas de la topografía y la geodesia en las que se requieran exactitudes del orden de los 10 mm a 15 mm.

El respaldo por puntos GNSS en levantamientos topográficos por medio de fotografías obtenidas con UAV para la determinación de los límites de una propiedad de 80 ha fue el trabajo que llevo a cabo Días et. al. (2019). Como productos una ortofoto y una carta planimétrica resultante de la vectorización de características sobre ortofoto.

En “Advanced GNSS technology of mining deformation monitoring” por Jing-Xiang y Hong (2009) proporciona formas específicas para la modernización de la tecnología de monitoreo GNSS en la deformación minera y alerta temprana de peligros.

El método Fotogramétrico con RPAS en comparación con la utilización de un levantamiento topográfico con Estación Total disminuye los tiempos de entrega, los costos, el valor visual, eficiencia, seguridad del operario, por resaltar algunas de las ventajas que ofrecen los RPAS (Bernuy, 2017). Estudio significativamente parecido al realizado por Santana et. al. (2020) que buscó determinar la precisión medida de acuerdo al error obtenido en las mediciones de levantamiento.

“Procesamiento de levantamientos topográficos en sectores rurales por medio de drone” donde se obtiene un producto cartográfico georreferenciado empleando un procesamiento fotogramétrico de imágenes aéreas capturadas por un dron para una zona rural y se confirmó que “es posible capturar información del terreno básica a detalle, la cual es únicamente verídica con puntos de control materializados en terreno” (Pinzón, 2019).

4. Referente Normativo Y Legal

Para la elaboración del proyecto investigativo, el procesamiento de datos GNSS y las normas técnicas para levantamiento topográfico se citan las siguientes resoluciones emanadas de la máxima autoridad catastral de Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC.

Resolución 068 de 28 de enero de 2005. Por la cual se adopta como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA-SIRGAS. El director general del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", en uso de sus facultades legales y en especial de las conferidas por el artículo 70 del Decreto 1301 de 1940, los numerales 3, 9, II y 12 del artículo 60 del Decreto 21 13 de 1992 y el numeral 2 del artículo 60 del Decreto 208 del 2000.

Parágrafo 1º. MAGNA-SIRGAS es la densificación en Colombia de SIRGAS y a su vez del ITRF.

Parágrafo 2º. El modelo de geoide asociado al datum MAGNA-SIRGAS será el producto denominado: GEOCOL 2004, que se adopta oficialmente por esta Resolución. Las versiones posteriores de este modelo de geoide, serán nominadas teniendo en cuenta el año de su adopción oficial y las alturas basadas en los SGNS serán referidas adecuadamente a dicho modelo.

Parágrafo 3º. Mientras no se disponga técnica y oficialmente la actualización del Sistema de Referencia Vertical para Colombia se seguirá empleando el que tiene origen en el mareógrafo de Buenaventura.

Parágrafo 4º. Hace parte integral de la presente resolución el Documento Técnico denominado: "Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia: MAGNA-SIRGAS".

Artículo 2º. Este Instituto mantendrá y actualizará MAGNA-SIRGAS, considerando las indicaciones sobre sistemas de referencia emanadas de las Asambleas del Proyecto SIRGAS, de la IAG, de la IUGG y del IPGH.

Artículo 3º. La información producida por este Instituto será referenciada a MAGNA-SIRGAS y se certificarán únicamente coordenadas de puntos vinculados a este datum.

Artículo 4º. La presente resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial y sustituye la adopción del Datum Bogotá (Elipsoide Internacional o de Hayford), realizada en la Primera Edición de la Publicación Especial N.º 1 "Resultados finales de las redes geodésicas establecidas entre Bogotá y Cartago, y entre Bogotá y Chiquinquirá" del Instituto Geográfico Militar y Catastral del año 1941 (IGAC, 2005).

Circular Reglamentaria No 002 del 27 de septiembre del 2015, Requisitos Generales de Aeronavegabilidad y Operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2) de la Aeronáutica Civil de Colombia.

La presente circular tiene como propósito ampliar la información e impartir instrucciones de cumplimiento en referencia a los requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarios para obtener permiso de acuerdo a lo establecido en el numeral 4.25.8.2 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), en lo relacionado con la realización de operaciones de Sistemas de aeronaves pilotadas a distancia - RPAS diferentes a las de recreación y deporte.

Esta circular aplica a cualquier persona (natural o jurídica) u organizaciones gubernamentales civiles interesadas en efectuar operaciones en el espacio aéreo colombiano con aeronaves pilotadas a distancia RPA, con fines diferentes a los de recreación y deporte.

Norma Técnica NTC Colombiana 6271 Información Geográfica Estudios Topográficos, 2018. Esta norma establece los requisitos técnicos básicos y las condiciones mínimas exigibles para la adecuada ejecución de estudios de topografía en el territorio nacional, destinados a:

1) Determinar los requisitos técnicos mínimos exigibles a tener en cuenta por las entidades del Estado y aquellas de carácter mixto o privado, para la formulación de

pliegos de contratación, invitaciones a cotizar y órdenes de trabajo de un estudio topográfico.

2) Garantizar la calidad de los datos adquiridos y los resultados representados en los entregables de un estudio topográfico; referenciados al Datum oficial horizontal y vertical para el territorio nacional.

3) Estandarizar todas las actividades inmersas en los estudios topográficos que se ejecuten en Colombia por entidades públicas y privadas, con profesionales reconocidos por ley para ejercer la topografía en el territorio nacional, acreditados por el CPNT y/o el COPNIA (ICONTEC, 2018).

Resolución Conjunta SNR 1732 IGAC 221-2018. Por medio de la cual se establecen los lineamientos y procedimientos para la corrección o aclaración, actualización, rectificación de linderos y áreas, modificación física e inclusión física de áreas de bienes inmuebles con el fin de dar solución a las inconsistencias que suelen presentarse en las transacciones y demás actos sobre este tipo de bienes, y el ajuste de la información en los sistemas catastral y registral, de acuerdo en la realidad física de los inmuebles como contribución a la seguridad jurídica del derecho de propiedad. El superintendente de notariado y registro y el director del instituto geográfico "Agustín Codazzi" en uso de sus facultades legales, en especial por las otorgadas por el decreto 2723 de 2014 artículo II numeral 3, y el decreto ley 21 13 de 1992 artículo 6 numeral 7.

Resolución 643 del 30 de mayo de 2018. Por la cual se adoptan las especificaciones técnicas del levantamiento planimétrico para las actividades de barrido predial masivo y las especificaciones técnicas del levantamiento topográfico o planimétrico para casos puntuales, las cuales forman parte integral del presente acto administrativo, en sus anexos N°1 y N°2 respectivamente.

Anexo 2. Especificaciones técnicas para levantamiento topográfico o planimétrico predial, en el marco de los requerimientos de la ley 1682 de 2013, la resolución 193 de 2014 y la resolución conjunta 732 (SNR) y 221 (IGAC) de 2018.

Las especificaciones técnicas adoptadas deben ser acatadas por las autoridades catastrales, los catastros delegados, y demás entidades que en razón de sus competencias tengan a cargo levantamiento planimétrico del barrido predial masivo o el levantamiento topográfico planimétrico para los casos puntuales, cuando se prendan de ellos efectos catastrales.

Resolución No 715 del 8 de junio de 2018. Por medio de la cual se actualiza el marco Geocéntrico nacional de referencia: MAGNA- SIRGAS. El director general del instituto geográfico " AGUSTÍN CODAZZI " en uso de sus facultades legales y en especial por las concedidas por el decreto 2113 de 1992 artículo 14 numeral I.

La resolución tiene como objeto actualizar el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA SIRGAS de ITRF94 época 1995.4 al ITRF2014 época 2018.0, la red de estaciones continuas denominadas MAGNA-ECO, como la red MAGNA-Pasiva

y sus densificaciones, conformarán este marco de referencia actualizado, esta resolución aplica para la información geodésica de Colombia, y respecto de todos los usuarios entidades oficiales y privadas que hagan uso de MAGNA-SIRGAS, apoyándose en las redes geodésicas densificadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en todo el territorio colombiano.

Resolución No 1562 del 27 de septiembre de 2018. Por medio de la cual se definen los valores que representan la calidad de los puntos medidos en redes geodésicas y levantamientos geodésicos, producidos o adquiridos por las entidades públicas o generados por privados para entidades públicas cuando estos son para uso oficial, y establecer el proceso de verificación de estos, hacen parte integral de la presente resolución, el manual de materialización de puntos de control geodésico.

El director general del instituto geográfico "AGUSTÍN CODAZZI " en uso de sus atribuciones legales, y en especial las que le confiere el decreto 21 13 de 1992, en especial el artículo 6 numeral 3, artículo 14 numeral 12 y, decreto 208 de 2004. Las disposiciones contenidas en la presente resolución deben cumplirse por los generadores de información geodésica con fines de uso oficial, quienes deberán tener en cuenta los estándares de precisión aquí definidos, las reglas de procedimiento que se deben seguir para la incorporación de los nuevos puntos al Marco Nacional de Referencia, MAGNASIRGAS, para que se ajusten a los órdenes de precisión aquí planteados y hagan parte de la información oficial del país. La validación del cumplimiento de los valores que representan la calidad de puntos medidos en redes geodésicas y

levantamiento geodésicos, estará a cargo de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018).

Resolución Conjunta SNR No 1732 IGAC No 221 del 23 de abril de 2019. por medio de la cual se modifica parcialmente la resolución conjunta SNR No 1732 IGAC No 221 del 21 de febrero de 2018 " El superintendente de notariado y registro y el director del instituto geográfico "Agustín Codazzi" en uso de sus facultades legales, en especial por las otorgadas por el decreto 2723 de artículo 11 numeral 3, y el decreto ley 2113 de 1992 artículo 6 numeral 7.

Resolución No 471 del 14 de mayo de 2020. "Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia. La directora general del instituto geográfico "AGUSTÍN CODAZZI " en ejercicio de sus facultades legales y estatutarias, en especial las conferidas por el numeral 3 del artículo 6, numeral 7 y 12 del artículo 14 del Decreto 2113 de 1992, el numeral I del artículo 6 del Decreto 208 de 2004.

En el ámbito de aplicación las especificaciones técnicas de los productos de la cartografía Básica Oficial de Colombia, son de obligatorio cumplimiento para todo aquel que produzca Cartografía Básica para fines oficiales, así como para gestores y operadores catastrales en el oficio de la gestión catastral; la cartografía Básica oficial de Colombia puede ser producida por personas naturales, jurídicas, públicas o privadas, de acuerdo con lo previsto en esta resolución. Se definen como productos finales de la Cartografía Básica oficial de Colombia las Ortoimágenes, Modelos digitales del

terreno, Bases de datos cartográfica(vectorial).

La resolución también emite unos lineamientos técnicos generales que debe cumplir la Cartografía Básica Oficial de Colombia a saber: Proyección Transversa de Mercator; Elipsoide GRS80; Origen: Latitud 4° N, Origen: Longitud 73° W; Falso Este 5.000.000; Falso Norte 2.000.000; Unidades Metros; Factor de Escala 0.9992.

El sistema de referencia vertical empleado será el de Buenaventura. Los productos y nivel para la Ortoimagen están dados por los siguientes datos Orto10 con GSD10cm, Orto20 con GSD20cm, Orto50 con GSD50cm, Orto100 con GSD100cm, Orto250 con GSD250cm.

Las ortoimagenes, Modelo Digital del Terreno y base de datos cartográfica deben ser representados en formato ráster y vector respectivamente y de entrega TIFF, XML/RDF+PostgreSQL/GDB.

5. Referente Teórico

Para el avance de la investigación es necesario establecer los principales conceptos, métodos y procedimientos que se tendrán en cuenta para lograr un desarrollo de los objetivos, metodología y llegar al análisis deseado.

Coordenada: cada una de las magnitudes que determinan la posición de un punto en un sistema de referencia (IGAC,2018).

Mojón: construcción realizada en la superficie terrestre a fin de materializar e indicar la posición de un punto en el terreno.

Lindero: Línea de división que separa un predio de otro.

Predio: Unidad espacial de terreno con o sin construcción, pertenecientes a personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que está sujeto a derechos y responsabilidades y sobre el cual pueden recaer restricciones, pueden ser rurales o urbanos (IGAC,2018).

Topografía: La topografía es el arte de medir distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medir ángulo entre líneas terrestres y establecer puntos por medio de distancias y ángulos previamente

determinados. Con los datos tomados por el topógrafo sobre el terreno y por medio de elementales procedimientos matemáticos, se calculan distancias, ángulos, direcciones, coordenadas, elevaciones, áreas o volúmenes, según lo requerido en cada caso (Torres & Villate,1968).

Tipos de Levantamientos Topográficos:

Levantamiento de terrenos en general: tiene por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

Topografía para vías de comunicación: sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.

Topografía de minas: tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.

Levantamientos catastrales: normalmente se trata de levantamientos urbanos o rurales, con el propósito de localizar los linderos de las propiedades (agrícolas, mineras, acuicultura, derechos de agua, etc.) y las construcciones que contienen.

Levantamientos hidrográficos: levantamientos relacionados con la definición

de deslindes de playas de mar, ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua, así como con la configuración e irregularidades de sus profundidades (batimetría).

Levantamientos de ingeniería: incluye los trabajos topográficos requeridos antes, durante y después del término o cierre de los proyectos de ingeniería.

Levantamientos aéreos: se hacen por medio de la fotografía, generalmente desde aviones y/o drones, y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos (González, Rincón, & Vargas, 2017, p. 3).

Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS: SIRGAS es la extensión del ITRF en América, el cual debe ser densificado para los diferentes países; por eso el Directorios de Institutos Geográficos de América del Sur, España y Portugal (DIGSA) acordaron que todos los sistemas de referencia de América del sur estarán definidos por SIRGAS y densificados (IGAC, 2014).

En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, organismo nacional encargado de determinar, establecer, mantener y proporcionar los sistemas de referencia geodésico, gravimétrico y magnético (Decretos No. 2113/1992 y 208/2004), inició a partir de las estaciones SIRGAS, la determinación de la Red Básica GPS, denominada MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia), que, por estar referida a SIRGAS, se denomina convencionalmente MAGNA-SIRGAS (IGAC, 2014). Gracias a esta densificación el país tiene un marco de referencia que permite

lograr georreferenciaciones muy precisas, los levantamientos deben estar ligados a coordenadas de las estaciones permanentes como la MAGNA ECO o red pasiva IGAC.

Levantamiento Topográfico: Encontramos los métodos directos (RTK, entre otros) e indirectos (fotogrametría), para esta investigación se utilizan ambos métodos, a continuación, se describen las especificaciones técnicas de levantamiento topográfico directo.

Puntos Topográficos Base a Partir de Equipos GNSS: Los puntos topográficos base para el levantamiento deben ser georreferenciados mediante el posicionamiento con equipos GNSS de frecuencia L1 o doble frecuencia L1/L2. Se debe emplear el método estático diferencial, a partir de dos puntos geodésicos de la red pasiva, o de la Red MAGNA-ECO, o una combinación, lo cual sea de forma simultánea. Además, se debe tener en cuenta el tiempo de rastreo, que depende de la distancia existente entre la estación de la red MAGNA-ECO o bien de la red pasiva del IGAC y el punto topográfico base a posicionar (IGAC, 2018).

$$\textit{Formula: } t = 65 \textit{ min} + (3 \textit{ min} \times (d - 10))$$

$$\textit{Donde: } t = \textit{Tiempo de rastreo}$$

d = Distancia en kilómetros

En caso de presentarse distancias mayores se debe ampliar el tiempo de rastreo.

Puntos de Levantamiento a Partir de Equipos GNSS: Son aquellos tomados sobre los puntos de lindero, construcciones y detalles relevantes, se deben señalar y ubicar en cambios de colindancia y en cambios de dirección asegurando la fidelidad de la forma del predio. A continuación, se listan los tipos de levantamientos a partir de equipos GNSS:

- **Estático Rápido Diferencial:** El tiempo de duración de las sesiones con equipos de doble frecuencia es de cinco (5) minutos de medición diferencial para líneas de hasta 6 Km. Para distancias mayores de 6 Km se debe aumentar dos (2) minutos por cada kilómetro adicional. Deben evitarse los rastreos con distancias mayores a 10 Km.
- **Cinemático en Tiempo Real:** Se deben materializar dos (2) puntos topográficos base, cercanos entre sí, de los cuales uno se empleará como referencia para la corrección diferencial en tiempo real y el otro, para chequeo al inicio y al final del levantamiento topográfico o planimétrico.

Cálculo GNSS: El procesamiento de los puntos rastreados en campo se debe realizar mínimo bajo los siguientes parámetros: el software utilizado debe estar configurado en el sistema de coordenadas WGS 84, el huso horario correspondiente a Colombia (-5 hrs), se debe evidenciar la carga de los valores de calibración de antenas provistos por la National Geodetic Survey (NGS), se debe evidenciar la carga de efemérides precisas provistas por la IGS (IGU, IGR, IGS) para el procesamiento de los datos, utilizar las coordenadas semanales del marco de referencia SIRGAS. En caso de que no estén disponibles las de la semana de rastreo para la fecha del cálculo, se debe trabajar con las más cercanas a esta, para el procesamiento utilizar datos GPS/GLONASS, los modelos troposféricos y ionosféricos utilizados en el procesamiento, deben ser los más adecuados para la zona de rastreo.

Así mismo se debe tener en cuenta: al menos dos soluciones a cada punto con respecto a las estaciones de la red Magna Eco, teniendo en cuenta que, si están a menos de 80 Km, deben resolver ambigüedades; en los resultados por vector de cada punto, se debe verificar que: el valor de M_0 sea menor a 1, el valor del GDOP sea menor a 8, la máscara de elevación debe estar en un rango de $5^\circ - 25^\circ$, las desviaciones estándar en cada componente Desv.Est.x, Desv.Est.y, Desv.Est.z menor a 1 cm. el promedio ponderado resultado en el cálculo de coordenadas mediante el procedimiento mencionado es de máximo 0.075 m en posición horizontal y vertical (IGAC, 2018 p, 55).

Fotogrametría: La fotogrametría y la teledetección es la ciencia, la tecnología y el arte de obtener información confiable a partir de imágenes sin contacto y otros sistemas de sensores sobre la Tierra y su entorno, y otros objetos y procesos físicos mediante el registro, la medición, el análisis y la representación (ISPRS, 2000).

Levantamiento Fotogramétrico: El levantamiento fotogramétrico es la elaboración de un plano con mucha precisión del terreno, el cual se logra en la obtención de imágenes recolectadas por equipos aéreos tripulados o no tripulados. Al obtener un compilado de cierta cantidad de fotos, trabajadas con un muy buen solape longitudinal y transversal se obtiene información tridimensional, trabajadas en un software especial de fotogrametría junto con puntos de control sobre el terreno, se logra el ortomosaico georreferenciado con mediciones precisas.

Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS): Sistema de Aeronave Piloteada a Distancia (Remotely-piloted aircraft system) (Aerocivil, 2015). Este tipo de sistema ha venido evolucionando durante estos últimos años, caracterizándose por autonomía y la intervención poca del operador de vuelo. Haciendo una descripción más específica de un RPAS se tiene que es un sistema formado por varios elementos como, la aeronave de cualquier tipo, pilotada a distancia por un piloto que monitorea y controla alguna situación y el comando de control, esa conexión se maneja por wifi, bluetooth entre otros.

Modelo Digital del Terreno (MDT): Un modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Los modelos digitales del terreno o MDT son, por tanto, modelos simbólicos ya que las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto real tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos. (Felicísimo, 2009).

Según Felicísimo las propiedades básicas de los MDT toman la forma de estructuras de datos, lo que significa que no son sólo una acumulación o listado de cifras, sino que su construcción debe realizarse de acuerdo con una estructura interna, representan la distribución espacial de una variable y finalmente la variable representada debe ser cuantitativa y distribución continua.

6. Metodología

Para el proceso de ejecución del presente estudio se utilizaron diferentes métodos y herramientas tecnológicas que permitieron la recolección primaria de la información y su posterior procesamiento, los cuales ayudaron a realizar la comparativa del objetivo general del estudio. Esa información obtenida es de mucha importancia para tener claro el avance que ha tenido el tema de levantamientos topográficos.

El desarrollo metodológico se realizó en tres fases, donde inicialmente se hizo la consulta de las especificaciones técnicas de los levantamientos topográficos establecidas en Colombia con base en los documentos oficiales existentes y establecidos por el IGAC (resolución 643 de 2018). Posteriormente, se realizó el levantamiento con un vuelo sobre el terreno usando vehículo aéreo no tripulado y la implementación del levantamiento por método RTK para la obtención de la información geoespacial; seguidamente se realizó el postproceso de la información fotogramétrica y la elaboración de los MDT en cada uno de los métodos y, por último, se elabora perfiles topográficos para realizar el análisis del comportamiento de éstos.

6.1 Enfoque metodológico

El desarrollo del estudio se utiliza un enfoque mixto, ya que se emplea información tanto cuantitativa (variables medibles como son los datos de precisión en coordenadas x,y,z), así mismo se usa información cualitativa (procedimientos técnicos y descriptivos de los levantamientos topográficos), lo cual permitió realizar una

descripción y análisis del comportamiento de las variables, al igual que se describe los procedimientos y técnicas para el desarrollo de las diferentes fases.

6.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio descriptivo-comparativo es el que se empleó en la investigación, ya que se describen las técnicas o métodos que se emplean en levantamientos topográficos, además se realiza una comparación de los resultados obtenidos.

6.3 Procedimiento

El estudio se desarrolló en la finca Villa Maria, ubicada en el Municipio de Planeta Rica perteneciente al departamento de Córdoba, la cual posee un área de 8 ha 3849m². La metodología se desarrolla en 3 fases, las cuales se exponen a continuación.

6.4 Fases o etapas de la investigación.

El desarrollo de esta investigación se realizó en 3 momentos, el primero hace referencia a la revisión de la información secundaria (especificaciones técnicas según normatividad colombiana para levantamientos topográficos), la segunda corresponde recolección de información primaria en campo, finalmente en la última etapa se analizan los resultados y elabora el informe final, a continuación, se describen cada una de ellas.

6.4.1 Fase 1. Revisión De Las Especificaciones Técnicas, Enmarcadas En La Normatividad Colombiana Para Levantamientos Topográficos.

Esta fase se ejecutó en oficina la cual se basa en primera instancia la consulta de las especificaciones técnicas de los levantamientos topográficos establecidas en Colombia con base en los documentos oficiales existentes y establecidos por el IGAC (resolución 643 de 2018). Seguido a esto se identificaron las estaciones activas MAGNA-ECO la cual son un conjunto de estaciones GNSS de rastreo continuo, se encuentran ubicadas estratégicamente en el territorio Nacional Colombiano y sirven como base de referencia para los levantamientos diferenciales, porque reciben información satelital en tiempo real, ésta red se encuentra conformada por 46 estaciones compuestas por una antena, un receptor, la pilastra y un equipo de comunicación para la transferencia de datos; de las estaciones se publica en la página oficial del IGAC la información rastreada en un archivo en formato RINEX conteniendo los datos de observación, navegación y meteorología (O, N, G) para su posterior descarga y uso en los levantamientos que se tengan por realizar.

Continuando con lo anterior, las estaciones permanentes de Sincelejo (SINC) y Caucaasia (CASI) se eligieron por estar más cerca al área de estudio, se tuvo en cuenta el tiempo de rastreo el cual depende de la distancia existente entre la estación de la red MAGNA-ECO y el punto topográfico base a posicionar que en este caso fueron denominados PTB-1 Y PTB-2; el postproceso de los puntos topográficos se realizó en el software CGO2.

Para el cálculo del tiempo de rastreo con doble determinación se implementó la fórmula establecida en la resolución 643 del 2018 emitida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1.
Cálculo tiempo de observación GNSS con doble determinación

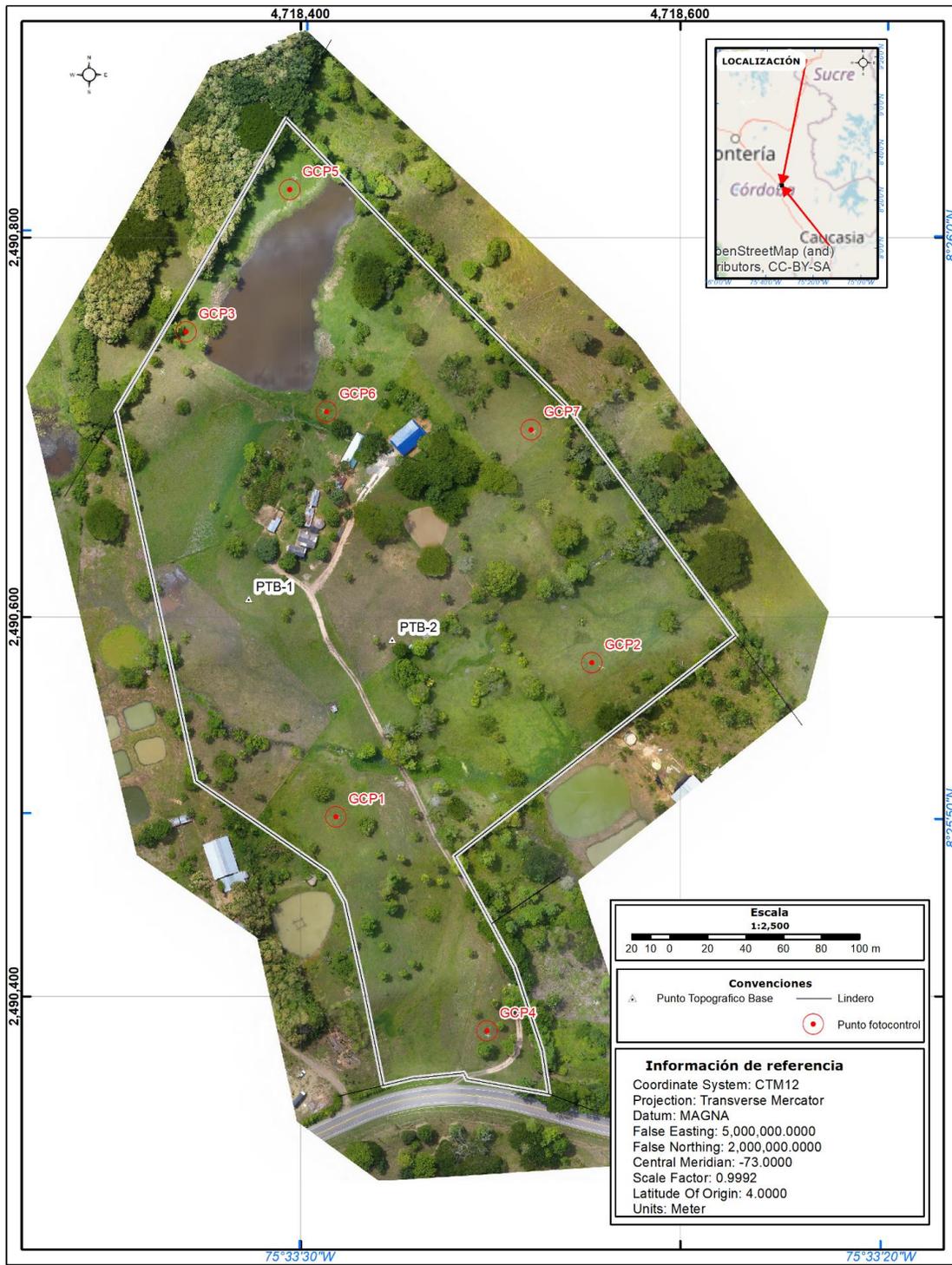
<p>SINC BASE PTB-1 PTB 99,58 $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p>333,74 <i>duración en minutos</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (d - 10))$ <p>Donde: $t = \text{tiempo de rastreo}$ $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p><i>Cálculo tiempo de rastreo desde SINC a PTB-1</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (99,58 - 10))$ $t = 65\text{min} + (3\text{min} (89,58))$ $t = 65\text{min} + (268,74\text{min})$ $t = 333,74\text{min}$ $t = 5\text{h } 34\text{min}$	<p>CASI BASE PTB-1 PTB 62,92 $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p>223,76 <i>duración en minutos</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (d - 10))$ <p>Donde: $t = \text{tiempo de rastreo}$ $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p><i>Cálculo tiempo de rastreo desde CASI a PTB-1</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (62,92 - 10))$ $t = 65\text{min} + (3\text{min} (52,92))$ $t = 65\text{min} + (158,76\text{min})$ $t = 223,76\text{min}$ $t = 3\text{h } 44\text{min}$
<p>SINC BASE PTB-2 PTB 99,58 $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p>333,74 <i>duración en minutos</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (d - 10))$ <p>Donde: $t = \text{tiempo de rastreo}$ $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p><i>Cálculo tiempo de rastreo desde SINC a PTB-2</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (99,58 - 10))$ $t = 65\text{min} + (3\text{min} (89,58))$ $t = 65\text{min} + (268,74\text{min})$ $t = 333,74\text{min}$ $t = 5\text{h } 34\text{min}$	<p>CASI BASE PTB-2 PTB 62,86 $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p>223,58 <i>duración en minutos</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (d - 10))$ <p>Donde: $t = \text{tiempo de rastreo}$ $d = \text{Distancia en Kilómetros}$</p> <p><i>Cálculo tiempo de rastreo desde CASI a PTB-2</i></p> $t = 65\text{min} + (3\text{min} (62,86 - 10))$ $t = 65\text{min} + (3\text{min} (52,86))$ $t = 65\text{min} + (158,58\text{min})$ $t = 223,58\text{min}$ $t = 3\text{h } 44\text{min}$

Nota. Elaboración Propia con base a resolución 643 de 2018

Las anteriores figuras muestran que el Punto Topográfico Base PTB-1 se encuentra a una distancia de 99,58km de la estación SINC y realizando el cálculo del tiempo de rastreo se tiene una duración de 5h y 34min; para la Estación CASI se encuentra a una distancia de 62,92km arrojando un tiempo de rastreo de 3h 44min.

Para el Punto Topográfico Base PTB-2 se encuentra a una distancia de 99,58km de la estación SINC y realizando el cálculo del tiempo de rastreo se tiene una duración de 5h y 34min; para la Estación CASI se encuentra a una distancia de 62,86km arrojando un tiempo de rastreo de 3h 44min. Para el ejercicio realizado se hizo un posicionamiento de 6h 12min y 50seg para ambos equipos, cumpliendo con la norma.

Figura 2.
Ubicación de Punto topográfico Base - PTB en el área de estudio



Nota. Elaboracion Propia

La anterior figura muestra la ubicación de los Puntos Topográfico Base (PTB-1 y PTB-2) en el área de estudio, los cuales se materializaron en zonas despejadas de vegetación y muy cercanos entre ellos, se puede decir muy al centro del predio; éstos nos ayudaron como base de amarre para los demás puntos de levantamiento como el perímetro, nube de puntos RTK y puntos de fotocontrol y así garantizar la precisión de los resultados.

6.5 Fase 2. Levantamiento De La Información En Campo

En esta fase se desarrolló todo lo referente a trabajo de campo, ejecutado en varias actividades.

6.5.1 *Levantamiento De La Información En Terreno Con Equipos GNSS*

Actividad 1. Se materializaron los puntos topográficos base nombrados como; PTB-1 y PTB-2, para lo cual se realizó una materialización consistente en un mojón con geometría de forma cuadrada, elaborado con cemento, arena, grava y placa en aluminio incrustada en el centro y debidamente marcada con la nomenclatura ya mencionada, posteriormente, se posicionaron los equipos o antenas GNSS E-Survey E600 y E-Survey E300 Pro respectivamente los cuales son equipos de doble frecuencia de muy alta precisión y se ubicaron en el terreno para que empezaran a grabar de forma simultánea.

Tabla 1.
Equipo GNSS E-SURVEY E600

Rastreo	
Canales	600
GPS	L1CA/L1P/L1C/L2P/L2C/L5
GLONASS	G1/G2, P1/P2
BeiDuo	B1/B2/B3
Galileo	E1BC/E5a/E5b
Precisión	
PP estático Largo horizontal	2.5 mm + 1 ppm (rms)
PP estático Largo vertical	5 mm + 1 ppm (rms)
PP estático Rápido horizontal	2 mm + 1 ppm (rms)
PP estático Rápido vertical	3 mm + 1 ppm (rms)
RTK horizontal	8 mm + 1 ppm (rms)
RTK vertical	15 mm + 1 ppm (rms)
Interfaz	
Teclado	1 botón (encendido /apagado)
Información LED	4 indicadores: Rastreo Satelital, Data Link, Batería, Bluetooth
Tarjetas	SIM y Tarjeta SD
Memoria	8 GB de Memoria Interna
Comunicación	
GSM / GPRS	GSM cuatribanda 4G/módulo UMTS pentabanda (800/850/900/1900/2100MHz)
Radio UHF	Transceptor 1W, 410-470 MHz
Bluetooth	Bluetooth 2.1 + EDR/ V4.1 Dual Mode, Clase 2
Conector TNC	Antena UHF
Puerto de comunicación	Serial y de Alimentación
Características Físicas	
Dimensiones	156mm*76mm
Pesos	1,2 kg con batería
Temperaturas de trabajo	-45°C hasta 65°C
Protección	IP67 resistencia al polvo y agua
Humedad	100% Condensación
Vibración	MIL-STD-810F
Caída	Aguanta una caída libre de 2 mts
Alimentación	
Batería	2 pilas de ión litio 38,5 Wh (2 x 7,2V/3.400mAh)
Tiempo de funcionamiento	10 horas (GNSS activado, y GSM o UHF Rx activado)
Alimentación externa	9-28 V DC

Tabla 2.*Equipo GNSS E-SURVEY E300PRO*

Rastreo	
Canales	800
GPS	L1CA/L1P/L1C/L2P/L2C/L5
GLONASS	G1/G2/G3
BeiDuo	B1I/B2I/B3I/B1C/B2a/B2b/ACEBOC
Galileo	E1/E5a/E5b/ALTBOC/E6
Precisión	
PP estático Largo horizontal	2.5 mm + 0.5 ppm (rms)
PP estático Largo vertical	5 mm + 0.5 ppm (rms)
RTK horizontal	8 mm + 1 ppm (rms)
RTK vertical	15 mm + 1 ppm (rms)
Interfaz	
Teclado	1 botón (encendido /apagado)
Información LED	4 indicadores: Rastreo Satelital, Data Link, Batería, Bluetooth
Tarjetas	SIM
Memoria	16 GB
Comunicación	
GSM / GPRS	GSM cuatribanda 4G/módulo UMTS pentabanda (800/850/900/1900/2100MHz)
Radio UHF	Transceptor 1W, 410-470 MHz
Bluetooth	Bluetooth 2.1 + EDR/ V4.1 Dual Mode, Clase 2
Conector TNC	Antena UHF
Puerto de comunicación	Serial y de Alimentación
Características Físicas	
Dimensiones	158mm*53mm
Pesos	940 gr con batería
Temperaturas de trabajo	-30°C hasta 65°C
Protección	IP67 resistencia al polvo y agua
Humedad	100% Condensación
Vibración	MIL-STD-810F
Caída	Aguanta una caída libre de 2 mts
Alimentación	
Batería	1 interna de ión litio 7.2V – 6800 mAh
Tiempo de funcionamiento	12 horas (GNSS activado, y GSM o UHF Rx activado)
Alimentación externa	9-28 V DC

Figura 3.

Imágenes de posicionamiento de PTB



PTB-1



PTB-2

Nota. Elaboración Propia

La imagen de la izquierda muestra el PTB-1 con el equipo E-Survey E600 posicionado, el cual tuvo una duración de rastreo de 6h 12min, y la imagen de la derecha muestra el PTB-2 con el equipo E-Survey E300 Pro con una duración de rastreo igual a la anterior.

Del levantamiento de los puntos topográficos base en campo, se obtuvieron las coordenadas X, Y, Z, con un margen de error en X y Y que va entre 0.0424 m y 0.0560 m

mientras que en Z el error fue de 0.1493. garantizando una precisión aceptable de los resultados para este tipo de levantamientos.

Tabla 3.

Coordenadas puntos PTB

PUNTO	Coordenadas Elipsoidales			Coordenadas Origen Nacional CTM12		
	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal (m)	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)
PTB-1	08°25'53.70109"N	075°33'30.91039"W	74,1929	2.490.609.653	4.718.372.863	70,59
PTB-2	08°25'53.01903"N	075°33'28.43150"W	77,093	2.490.588.199	4.718.448.567	73,49

Nota: Elaboración Propia

Las anteriores coordenadas o puntos base levantados, garantizan la precisión y correcto levantamiento de la información en campo de los vértices que conforman el perímetro de la finca y la nube de puntos en modo RTK, lo cual se detalla en la actividad 2

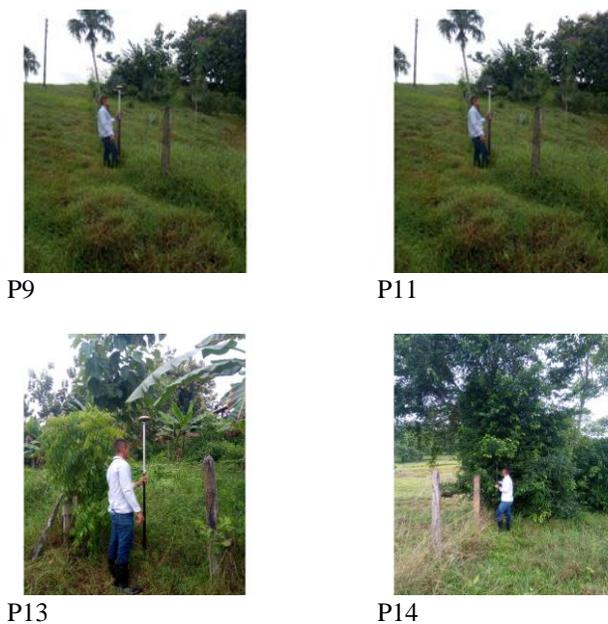
Actividad 2. En esta actividad se realiza el levantamiento del perímetro y la nube de puntos en modo RTK en todo el terreno, para lo cual se arma la antena E-Survey E600 en el punto topográfico base PTB-1 y se empieza a recorrer cada vértice que conforma el predio, con un tiempo de rastreo promedio de 5 segundos para ambos ítems, siendo un total de 22 puntos teniendo en cuenta los cambios de direcciones en la línea divisoria del predio o limite predial, adicional se toman los detalles de cada lindero, es decir, nombres y apellidos de los colindantes a continuación, se evidencia con algunas fotografías del proceso en campo. En cuanto a la nube de puntos la metodología consiste en seguir una trayectoria en línea recta, registrando datos cada 10 pasos, de esta manera se realiza un barrido total sobre todo el terreno que conforma dicha área de estudio.

Es de resaltar que los tiempos de rastreo del perímetro y la nube de puntos es de 5 segundos, lo cual garantiza una solución fija en todos los puntos registrados, siendo estos tiempos menores que en el levantamiento de los puntos Base: 6 horas 12 minutos y 50 segundos, sin embargo, la duración de estos garantiza la precisión de los vértices corrigiendo los errores que puedan surgir.

A continuación, en la figura 4 se muestra un registro fotográfico de los procesos en campo de algunos de los vértices correspondientes a los linderos y en la tabla 2 muestra las coordenadas, en X y Y, así como los valores de altura o Z de cada uno de los puntos tomados.

Figura 4.

Imágenes de vértices lindero



Nota. Elaboración propia

Tabla 4.*Coordenadas vértices linderos*

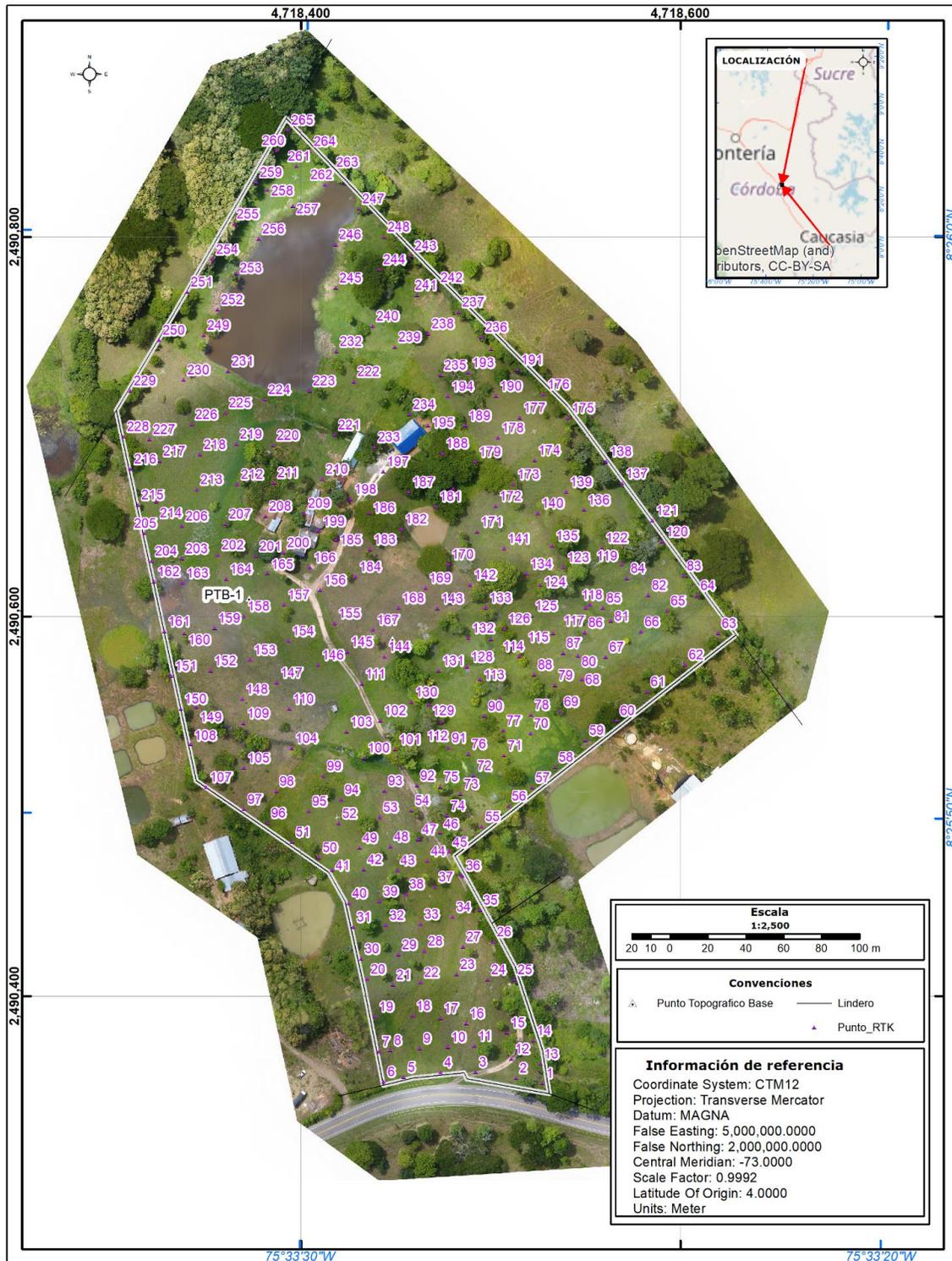
PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
P1	4.718.481,13	2.490.473,88	71,98	Lindero
P2	4.718.500,63	2.490.438,40	75,59	Lindero
P3	4.718.512,89	2.490.415,37	78,65	Lindero
P4	4.718.527,19	2.490.371,57	82,11	Lindero
P5	4.718.530,78	2.490.348,51	84,92	Lindero
P6	4.718.487,42	2.490.356,38	85,56	Lindero
P7	4.718.485,98	2.490.359,49	85,22	Lindero
P8	4.718.459,12	2.490.356,70	86,31	Lindero
P9	4.718.443,50	2.490.353,02	86,86	Lindero
P10	4.718.433,20	2.490.404,41	84,94	Lindero
P11	4.718.423,33	2.490.449,67	78,17	Lindero
P12	4.718.414,71	2.490.465,28	77,76	Lindero
P13	4.718.374,96	2.490.492,80	71,71	Lindero
P14	4.718.344,86	2.490.513,56	73,61	Lindero
P15	4.718.302,65	2.490.708,77	71,8	Lindero
P16	4.718.332,54	2.490.758,84	76,69	Lindero
P17	4.718.369,75	2.490.823,40	76,64	Lindero
P18	4.718.392,27	2.490.862,69	76,46	Lindero
P19	4.718.467,36	2.490.784,24	77,18	Lindero
P21	4.718.548,39	2.490.700,36	86,67	Lindero
P20	4.718.540,35	2.490.710,94	89,68	Lindero
P21	4.718.629,33	2.490.590,38	72,89	Lindero

Nota. Elaboración Propia

Pasando a la generación de la nube de puntos en RTK se recolectaron 265 puntos con tiempos de captura 5seg, para obtener el modelo digital de elevación del predio (ver anexo A).

La figura que se presenta a continuación se visualizan la ubicación de cada punto recolectado en modo RTK.

Figura 5.
 Imagen de puntos Recolectados en RTK



Nota. Elaboración Propia

6.5.2 Levantamiento De Puntos De Fotocontrol Con Ayuda De Sistema De Aeronaves Pilotadas A Distancia RPAS

Esta actividad es complementaria a la anterior, debido a que estos puntos serán usados en el software Pix4DMapper para el procesamiento de imágenes aéreas y la correcta georreferenciación del levantamiento. A continuación, se detalla dicha actividad.

Actividad 3. Distribución de las marcas de fotocontrol en campo: esta actividad consistió en la distribución de los puntos de fotocontrol localizados de manera aleatoria en sitios abiertos, desprovistos o con poca vegetación, lo cual garantiza que dichas marcas puedan ser vistas desde el aire, cada uno fue colocado a una distancia aproximada de 100 metros, estas marcas fueron pintadas de color blanco en forma de cruz, con una longitud de 2 metros de largo por 10 centímetros de ancho, sobre el terreno, de esta manera pueden ser identificadas en las tomas de las fotografías aéreas, esto permite la georreferenciación a la ortofoto, en total se posicionaron 7 puntos, en modo estático tomando como referencia los puntos topográficos base calculados, más exactamente el PTB-1, cabe mencionar que el tiempo de rastreo fue de 10 minutos para todos, ya que la distancias de los puntos de fotocontrol a la base oscilaban entre 106 metros y 260 metro.

A continuación, en la tabla 5 se muestran la geocodificación y coordenadas calculadas para cada punto de fotocontrol levantado en campo y procesado en oficina. En la figura 6 hace referencia a la ubicación de estos puntos de fotocontrol en campo y un registro fotográfico de los procesos en campo.

Tabla 5.
Coordenadas puntos fotocontrol

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
GCP1	4.718.418,93	2.490.494,66	73,86	GCP
GCP2	4.718.553,69	2.490.575,86	70,9	GCP
GCP3	4.718.339,80	2.490.750,47	74,81	GCP
GCP4	4.718.498,53	2.490.381,76	84,65	GCP
GCP5	4.718.394,54	2.490.825,42	72,38	GCP
GCP6	4.718.414,05	2.490.708,15	73,65	GCP
GCP7	4.718.521,81	2.490.698,63	86,7	GCP

Nota. Elaboración propia

Figura 6.

Ubicación de puntos fotocontrol e imagen de posicionamiento



Nota. Elaboración Propia

Actividad 4. Ejecución del vuelo fotogramétrico con dron: en esta actividad se realizó sobrevuelo con dron Phantom 4 programado en el software DJI GS Pro, el cual es un programa licenciado para elaborar planes de vuelo con aeronaves no tripuladas o drones; los parámetros utilizados en la programación del vuelo fueron los siguientes: altura de 95.6 metros, lo cual garantiza una resolución espacial de 4.1 centímetros por cada pixel a la hora de elaborar el

ortofotomosaico y el modelo digital de elevación. Además, por el tipo de relieve colinado y con cobertura en su mayoría de pastos, a la hora de hacer el vuelo se debía garantizar una resolución como mínimo de 10 centímetros en cartografía a escala 1:1000, teniendo en cuenta lo estipulado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – resolución 471 del 14 de mayo del 2020 y en el documento técnico: Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital. A continuación, se muestra en la tabla 6 y 7 un detalle de las especificaciones del vuelo, el tipo de cámara usado.

Tabla 6.*Especificaciones de la misión de vuelo*

Misión de vuelo	
Aeronave	Drone Phantom 4
Aplicación	Dji GS Pro
Altura de vuelo	95.6m
Traslape longitudinal	80%
Traslape transversal	60%
Velocidad	12.5m/s
Resolución espacial o GSD	4.1cm/pixel
numero de fotos tomadas	269

Nota. Elaboración Propia

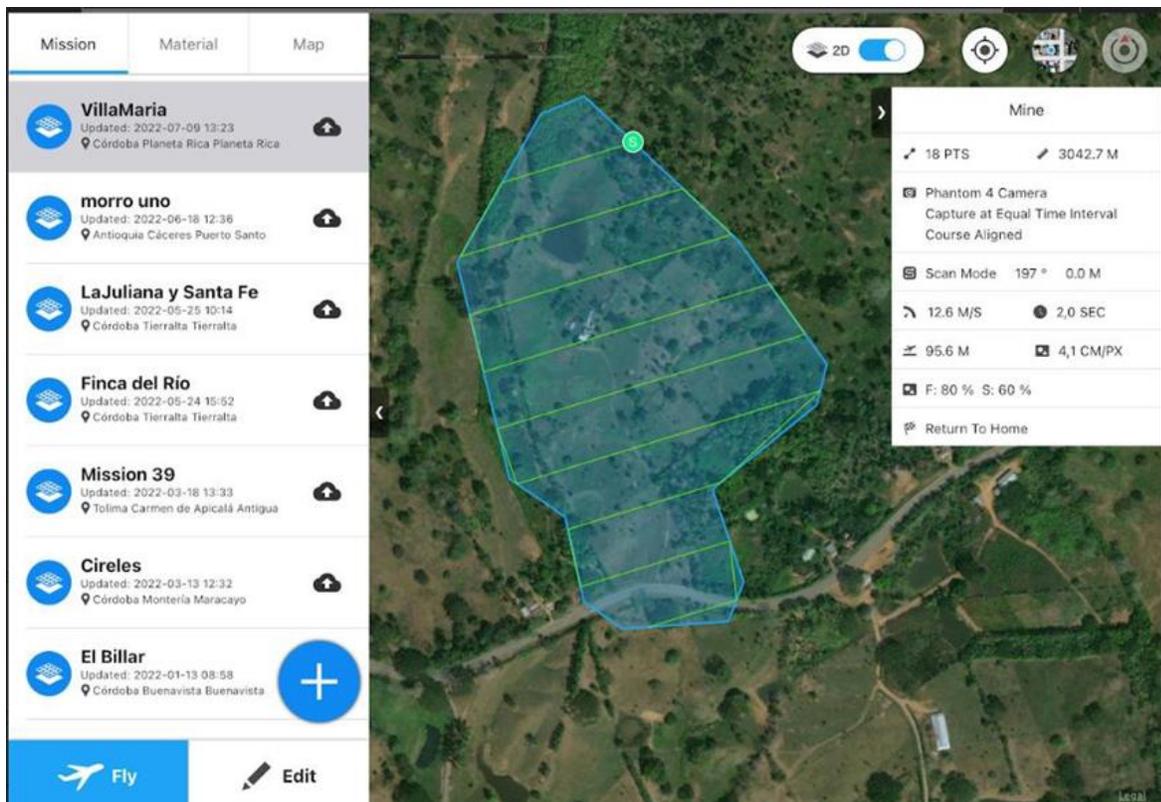
Tabla 7.*Especificaciones de la Cámara*

<i>Especificaciones de la cámara</i>	Cámara
Sensor	1" CMOS Effective pixels: 20M
Lens	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞
ISO Range	Video: 100 - 3200 (Auto) 100 - 6400 (Manual) Photo: 100 - 3200 (Auto) 100- 12800 (Manual)
Mechanical Shutter Speed	8 - 1/2000 s
Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
Image Size	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648 4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648 16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078
PIV Image Size	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p) 3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p) 2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p) 1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p) 1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)
Still Photography Modes	Single Shot Burst Shooting: 3/5/7/10/14 frames Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Supported File Systems	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Photo	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Supported SD Cards	Micro SD Max Capacity: 128GB Write speed ≥15MB/s, Class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)

Nota. Tomado de <https://www.dji.com/phantom-4>

En la figura 7 se muestra la programación del sobrevuelo con dron en el software Dji GS Pro, el cual tuvo una duración de 5 minutos, para cubrir un área de 15.34 hectáreas (área total del predio y bordes externos o colindantes) el porcentaje de superposición de la toma de las fotografías fue de 80 % frontal y 60% longitudinal, garantizando un cubrimiento total del área, a una velocidad de 12,6 m/s; del sobrevuelo se obtuvieron 114 fotografías aéreas con las cuales se elaboró el levantamiento fotogramétrico y topográfico.

Figura 7.
Parámetros de sobrevuelo – software DJI GS Pro

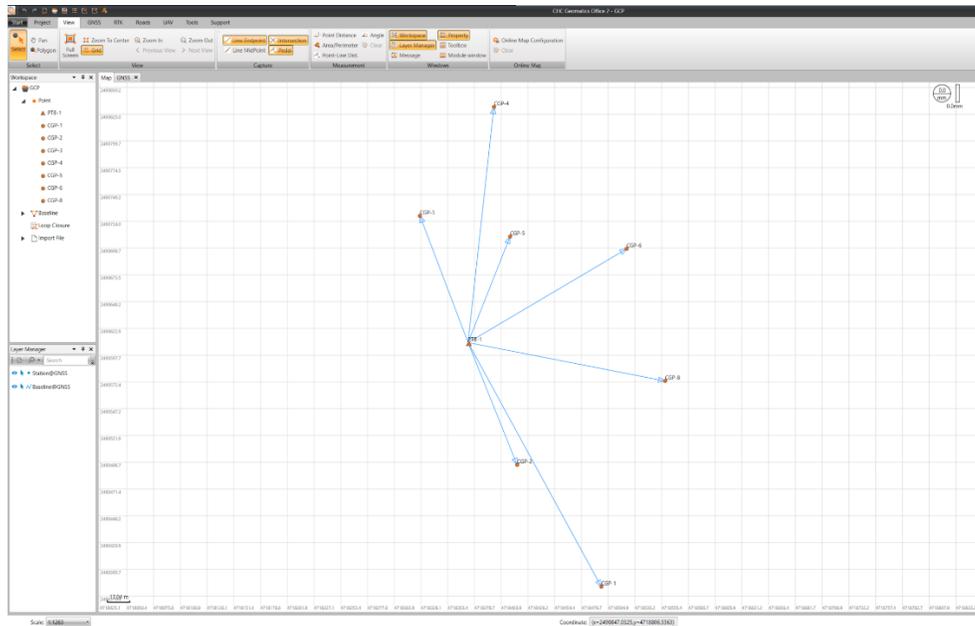


Nota. Elaboración Propia

Actividad 5. Trabajo de oficina con la información recogida en campo: El postproceso de los puntos fotocontrol se realizó en el software CGO2, diseñado para editar, procesar y analizar los datos originales de los equipos GNSS y obtener posiciones de alta precisión. Desarrollando el proceso en oficina, se tomó como punto base de amarre el PTB-1 el cual ya conocemos sus coordenadas precisas, y nos dará buen amarre a nuestros puntos de fotocontrol, seguido a esta elección se van importando los rinex de los 7 puntos recolectados, la duración de posicionamiento se tuvo en cuenta dependiendo de la distancia que tenían éstos con la base, la cual oscilaba entre 106m y 262m, arrojando tiempos de 11 minutos.

En la siguiente figura se muestra el procesamiento de líneas base en el software; cabe mencionar que solo se utilizó un equipo para la recolección de los puntos de fotocontrol, por tal razón la figura muestra la línea base del PTB-1 con cada punto recolectado, los resultados esperados garantizaron el cumplimiento de la norma arrojando una solución fija en todos los puntos.

Figura 8.
PTB-1 y las líneas bases a cada punto de fotocontrol



Nota. Elaboración propia

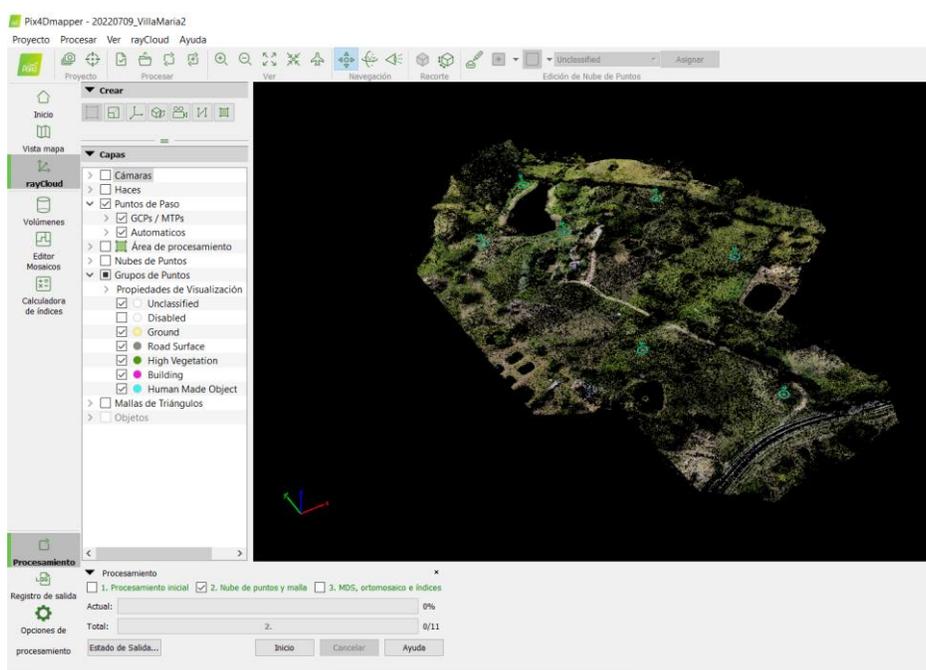
Para el postproceso de las imágenes tomadas en el vuelo, se realizó en el software PIX4D las cuales fueron 269 fotos; en el software se crea el proyecto y ejecutan los 3 pasos de procesamiento.

El primer paso de procesamiento es el inicial en el cual se crean puntos de enlace automáticos, identifica características específicas como puntos clave en las imágenes, además en este paso se calibra los parámetros de la cámara, al tener ese primer reporte se adicionan los puntos de control para georreferenciar el ortomosaico y se vuelve a reoptimizar el paso inicial, el segundo paso es la creación de nube de puntos y malla en el cual se crean puntos de empate adicionales basados en los puntos de

empate automáticos de la nube de puntos, además se crea una malla con textura 3D a partir de éstas. En la siguiente figura se puede visualizar una cantidad de puntos lo cual se asemeja al terreno en sí, también se muestra la ubicación de las imágenes en la parte superior.

Figura 9.

Visualización nube de puntos densa

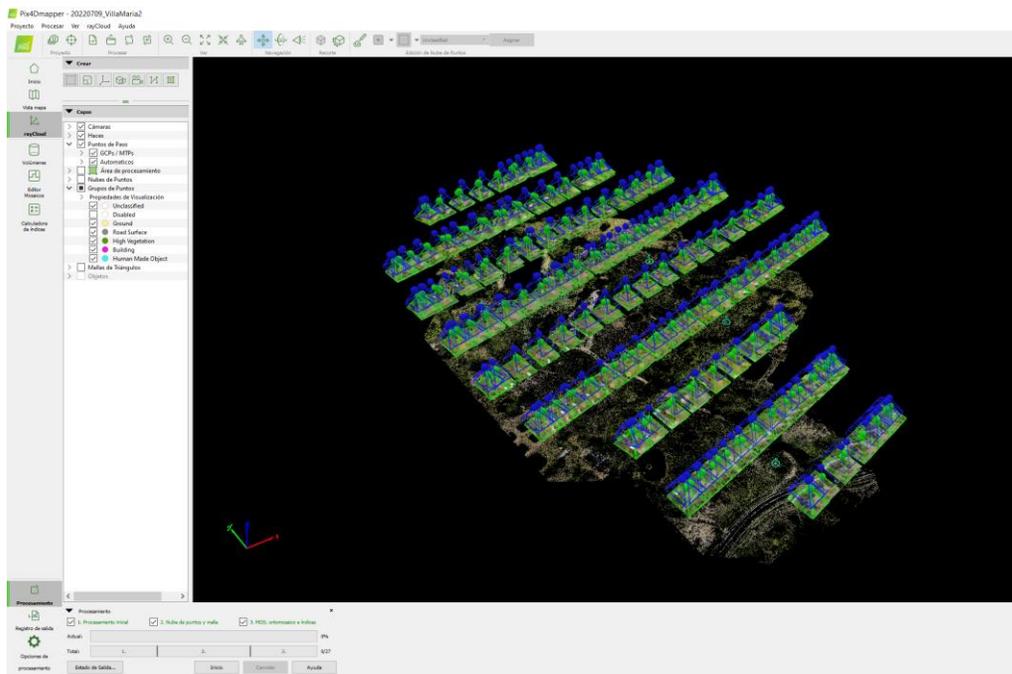


Nota. Elaboración propia

En el paso 3 se realiza el Modelo digital de superficies DSM, Ortomosaico e Índices, el DSM permitirá el cálculo de volúmenes, ortomosaicos y mapas de reflectancia, el Ortomosaico se basa en ortorectificación, elimina las distorsiones de perspectiva de las imágenes tomadas en campo.

Actividad 6. Proceso -TIN: el cual es una forma de datos geográficos digitales basadas en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). En este paso se genera la nube de puntos en RTK en el software ArcMap 10.4 con la extensión 3D Analyst tools, y se dibujaron 3 perfiles en ambos modelos realizados con la herramienta de interpolate línea de la extinción 3D Analyst, se generaron pasando una línea sobre la zona que se quiere estudiar, al realizar la línea automáticamente se activa el icono de profile Graph y al dar clic en él, se genera el perfil deseado.

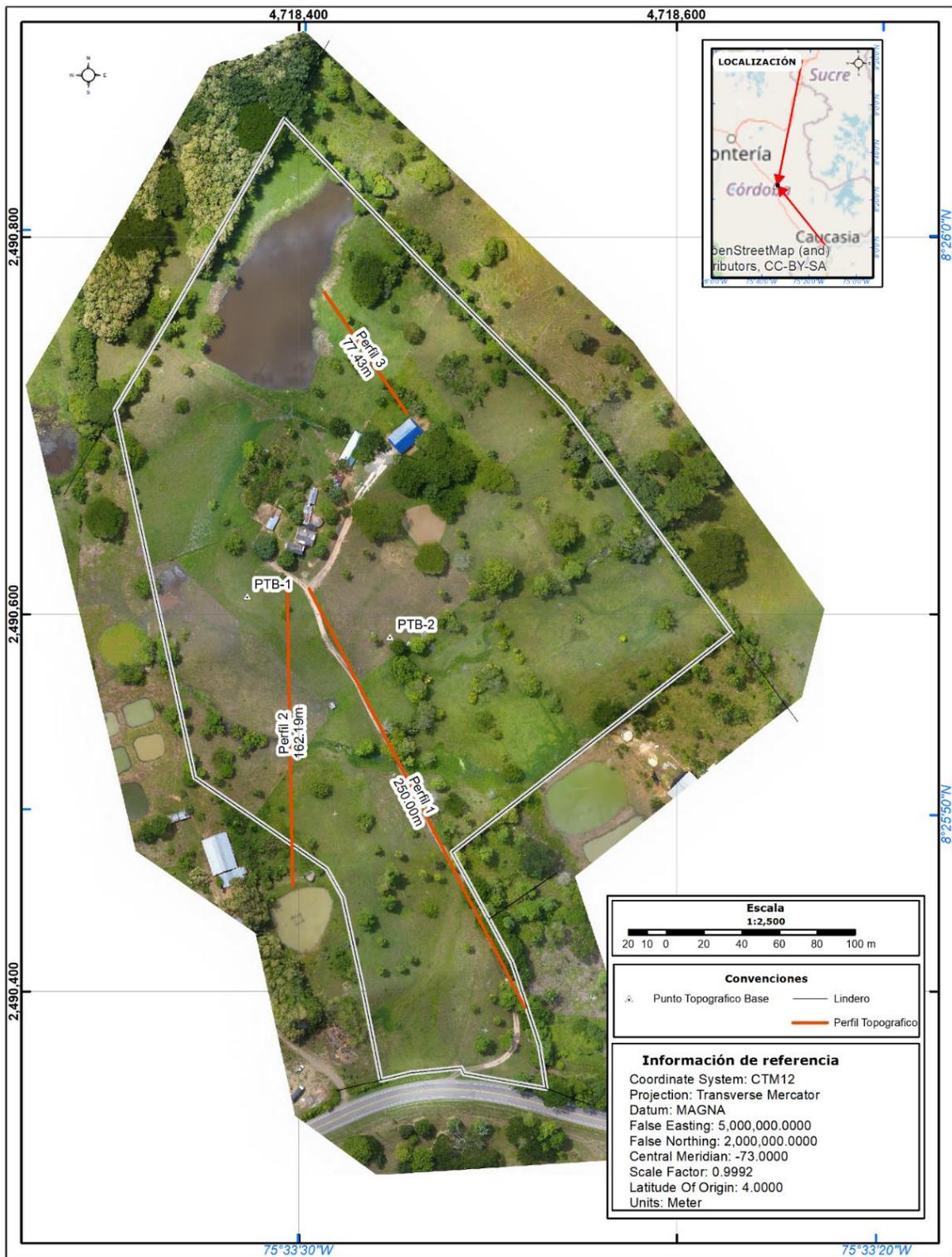
Figura 10.
Visualización en PIX4D de los tres pasos realizados



Nota. Elaboración Propia

La figura muestra el postproceso del vuelo fotogramétrico en el software PIX4D, donde se evidencia en la parte inferior izquierda, que los 3 pasos fueron ejecutados y se encuentran de color verde.

Figura 11.
Visualización de perfiles topográficos

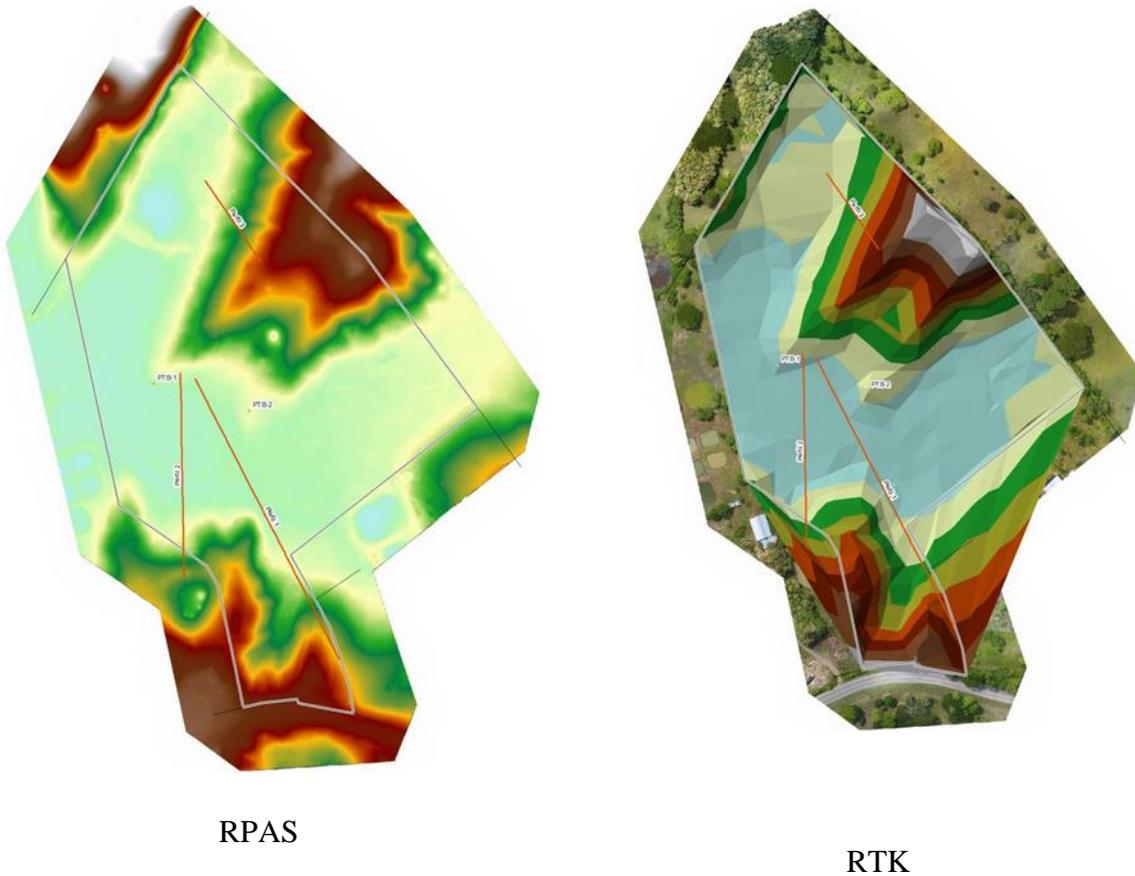


Nota. Elaboración Propia

La figura muestra la ubicación de los tres perfiles topográficos seleccionados acordes a la necesidad del propietario, en la parte Norte del predio se encuentra el perfil 3 ubicado en la dirección del estanque artificial localizado dentro del predio, en la parte central se encuentra el perfil 1 ubicado con referencia a la entrada del predio y en la parte Oeste se encuentra el perfil 2, se ubicó en dirección al otro estanque artificial localizado en el predio vecino.

Figura 12.

Modelos Digitales de Terreno



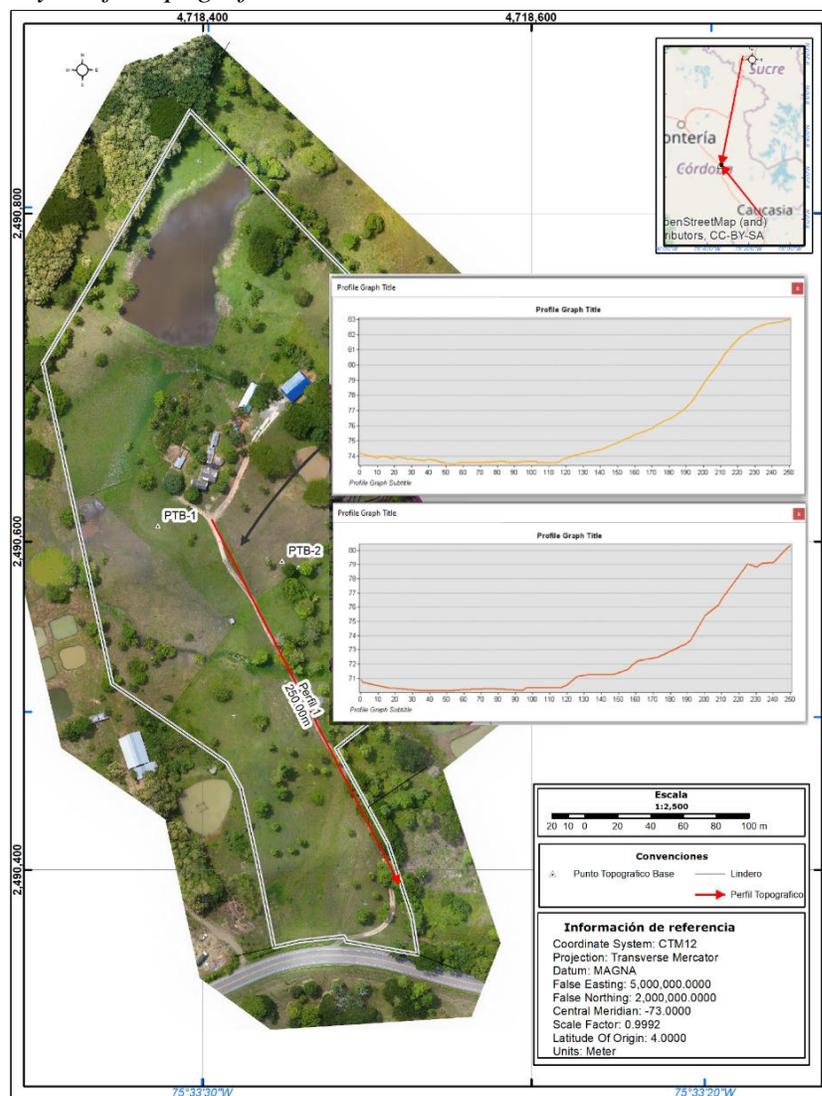
Nota. Elaboración Propia

En la figura 12 se observa el resultado de los modelos digitales de elevación, a la derecha el modelo realizado con el método RTK, el cual no muestra detalles en el relieve y en algunas partes como en la zona norte que hay estanque artificial no se logra una continuidad en la nube de puntos lo cual genera que existan errores en las alturas, por el contrario en el modelo digital de elevación generado con método RPAS es mucho más preciso por la cantidad de puntos que se generan que pueden ser millones, lo cual garantiza gran nivel de detalle y precisión en la altura ajustada a la realidad del terreno. Por lo cual es mucho más recomendable la generación de modelos digitales de elevación con RPAS.

7. Resultados

Los perfiles se seleccionaron para la aplicación, el primero con la finalidad de conocer el perfil de la vía de acceso de la finca, y los perfiles 2 y 3 como referencia en la posible captación de agua de estanques artificiales para traer agua hacia la vivienda sin necesidad de bombeo, es decir, por gravedad.

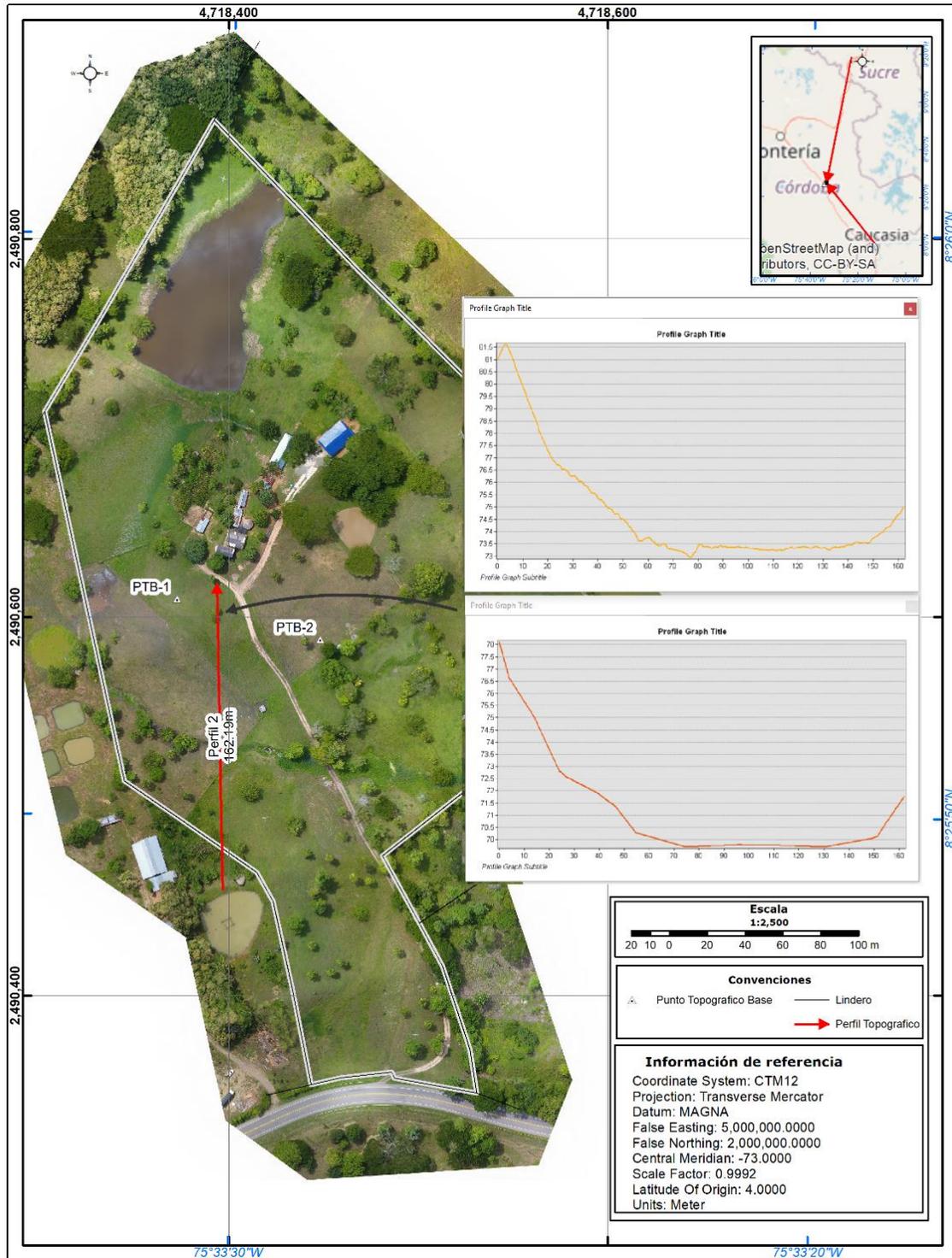
Figura 13.
Mapa de localización y Perfil topográfico 1



Nota: Elaboración Propia

El perfil superior hace referencia a la nube de puntos en RTK y el perfil inferior al modelo realizado con RPAS, los gráficos muestran en el eje X la longitud y en el eje Y la elevación, se visualiza que la similitud del terreno es poca, identificándose más real en el perfil fotogramétrico, además el perfil generado por el método RTK tiene 3m de diferencia en la Z, es decir, que el perfil está por encima si se le compara con el levantado por método fotogramétrico. Nótese también, que el perfil superior es más suavizado lo que da indicios de generalización, éste se dibujó pensando en la vía de ingreso a la finca para estudiar posibles arreglos y cuantificar la demanda de materiales.

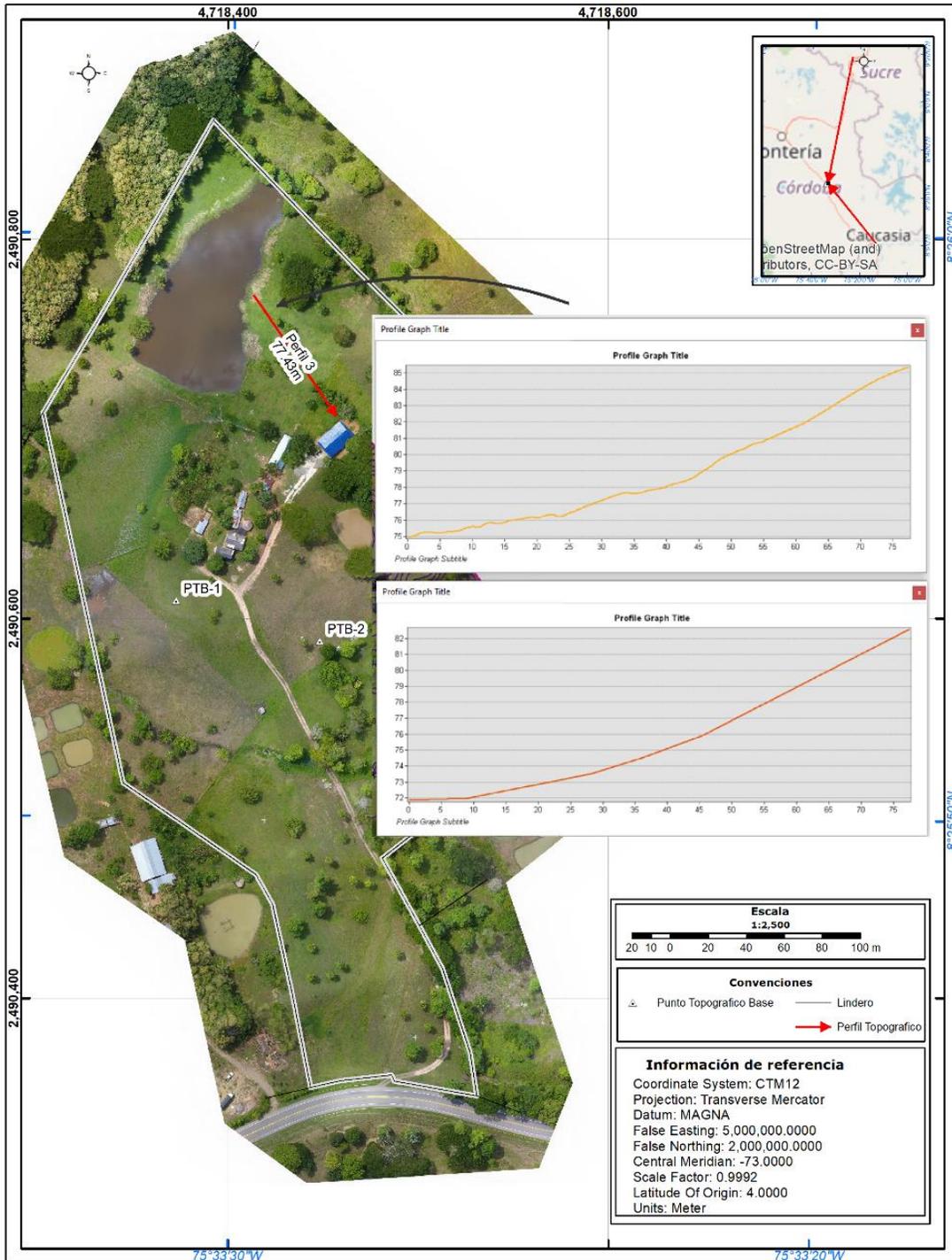
Figura 14.
 Mapa de localización y Perfil topográfico 2



Nota: Elaboración Propia

El perfil superior hace referencia a la nube de puntos en RTK y el perfil inferior al modelo realizado con RPAS, los gráficos muestran en el eje X la longitud y en el eje Y la elevación, éste es el más largo, se puede visualizar similitudes en terreno, en los valores de distancia 50, 60, 70, 90, logrando inferir zona plana pero cuando asciende la línea, se evidencian saltos, éste se dibujó para posible línea de tubería para captación de agua desde un estanque artificial.

Figura 15.
 Mapa de localización y Perfil topográfico 3



Nota: Elaboración Propia

El perfil superior hace referencia a la nube de puntos en RTK y el perfil inferior al modelo realizado con RPAS, los gráficos muestran en el eje X la longitud y en el eje Y la elevación, éste es el más corto de los perfiles, en esta comparación se logra ver más suavizada la línea del perfil fotogramétrico, dando a entender q es el más óptimo para la instalación de la tubería, las líneas se pueden visualizar que llevan la misma trayectoria, solo que el perfil superior presenta pequeños saltos de diferencias.

Los resultados obtenidos permiten inferir la eficiencia de ambos métodos (RTK y RPAS) en terrenos planos, debido que al generar los resultados no se notara tanto la desigualdad, sin embargo, cuando existen diferencias en las pendientes o el relieve del terreno los resultados son muy diferentes en ambos métodos.

En las tablas 8 y 9 se listan las ventajas y desventajas de los métodos en los levantamientos topográficos, destacándose el uso de los RPAS en combinación con equipos GNSS ya que permite mayor eficiencia en cualquier tipo de terreno, una mayor precisión de los resultados (en comparación con los generados solo con RTK o equipos convencionales de topografía), mayor nivel de detalle en curvas de nivel y modelos digitales de elevación, es decir se puede generar mayor cantidad de productos: modelos digitales de superficie, nube de puntos densa con una cantidad de información, ortofotomosaicos, los cuales no se pueden generar con levantamientos con el método RTK, además de esto los levantamientos se realizan en un menor tiempo, requieren menor cantidad de personas.

Sin embargo, como desventajas del método RPAS combinado con RTK podemos tener el alto peso de la información, la utilización de equipos de cómputo especializados, softwares especializados en la programación de vuelos, softwares licenciados para procesar las fotografías aéreas, lo que incrementa los costos económicos del producto final, otra desventaja que se tiene cuando el terreno es bastante poblado por árboles, la representación de este se verá afectada por la altura de los árboles lo cual se tendrá que hacer un filtrado, pero quedando siempre con información vegetal, a diferencia del levantamiento RTK que se ésta tomando la información directa del terreno, además de lo anterior se requiere conocimientos técnicos y profesionales para elaborar un levantamiento topográfico.

Por otro lado, algunas, desventajas que pueden tener ambos métodos son las limitaciones en terrenos con alta cobertura vegetal o edificaciones, en cuanto a ventajas en ambos se destaca la toma de la información en tiempo real y la eficiencia de los levantamientos en terrenos planos. Estas ventajas y desventajas de los métodos topográficos con RTK y RPAS se pueden apreciar a detalle en los cuadros siguientes.

Tabla 8.

Ventajas y desventajas de los levantamientos topográficos con el método RTK

Ventajas de los levantamientos topográficos con el método RTK	Desventajas de los levantamientos topográficos con el método RTK
Eficiencia de los levantamientos en terrenos planos	Tiene limitaciones en ambientes con mucha vegetación y edificaciones, en cuanto a la recepción satelital
Toma de la información en tiempo real	Los resultados de los levantamientos no alcanzan niveles de detalles adecuados
Mayor nivel de precisión en áreas debajo de árboles	No permite continuidad en la toma de datos cuando existen obstáculos como cuerpos de agua, humedales, o acantilados
Mayor precisión y productividad que las técnicas convencionales de topografía – diferentes a los RPAS	Limitada cantidad de puntos para generar la nube de puntos con que se genera el modelo digital de elevación
Bajo peso de la información (espacio de almacenamiento en disco) tomada en campo y la generación de resultados, lo cual facilita la manipulación de esta.	Larga sesión de trabajo de campo (mayor tiempo en comparación con los métodos RPAS) para la recolección de la información
Se requiere conocimientos a nivel técnico	
Menor cantidad de productos (curvas de nivel, nube de puntos “con poca información en comparación con la nube de puntos generada con RPAS”, Modelo digital de elevación y plano topográfico del área de estudio	Se requiera de mayor personal para elaborar los levantamientos (1 operador de equipos GNSS, 1 cadenero, 1 trochero, 1 persona como guía del área que conozca los linderos)
La información obtenida se puede procesar en cualquier equipo de cómputo con capacidad normal en su software y hardware	No se obtiene una imagen real del terreno, como en el caso de los levantamientos con RPAS en donde se genera una ortofotografía donde se detalla cada elemento del terreno.
Menores costos económicos (por el personal requerido, los equipos usados y el tiempo para los levantamientos)	

Nota. Elaboración propia

Tabla 9.

Ventajas y desventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS

Ventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS combinado con equipos GNSS	Desventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS combinado con equipos GNSS
Eficiencia de los levantamientos en distintos tipos de relieve	alto peso de la información (espacio de almacenamiento en disco) tomada en campo y la generación de resultados
Toma de la información en tiempo real	La información obtenida no puede ser procesada en cualquier equipo de cómputo, ya que se necesita software y hardware especializados, con alta capacidad de almacenamiento para manejar los volúmenes de información
Mayor precisión y productividad que las técnicas convencionales de topografía y con equipos RTK	Mayores costos económicos (por el personal requerido, los equipos usados y los programas utilizados para procesar la información y obtener los resultados)
Los resultados de los levantamientos alcanzan niveles de detalles adecuados, obteniéndose una resolución a nivel de centímetros y además se logra identificar mejor las diferencias de alturas, a diferencia de los RTK que los levantamientos no son tan detallados	Tiene limitaciones en ambientes con mucha vegetación y edificaciones, en el procesamiento de los datos
Se obtienen mayor cantidad de productos (Modelo digital de Elevación, Modelo Digital de Superficie, Ortofotomosaico, Nube de puntos densa, Curvas de nivel más detalladas que en los levantamientos RTK, plano topográfico del área)	Se requiere conocimientos a nivel técnico y profesional para manipular los equipos y el procesamiento de la información en softwares especializados
las sesiones de trabajo de campo para la	

Ventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS combinado con equipos GNSS	Desventajas de los levantamientos topográficos con el método RPAS combinado con equipos GNSS
recolección de la información son mucho más cortas en comparación con los levantamientos RTK	
permite continuidad en la toma de datos (sin importar los obstáculos como cuerpos de agua, humedales, o acantilados ya que se sobrevuela sobre estos)	
Se requiera de menor personal para elaborar los levantamientos (1 operador de equipos GNSS, 1 persona como guía del área que conozca los linderos, 1 Piloto profesional de drones)	

Nota. Elaboración propia

En síntesis, el empleo del método topográfico con RPAS combinado con RTK permite obtener resultados mucho mas confiables y ajustados a la realidad del terreno, con mayor cantidad de productos, y además con una representación del terreno fiel a lo visto en campo, aunque el costo económico sea mayor y se necesiten equipos y softwares especializados, es recomendable estos levantamientos sobre todo si se necesita realizar cualquier actividad de planificación de alta precisión.

8. Conclusiones

Como base para la ejecución de la investigación se tuvo en cuenta todas las especificaciones técnicas requeridas para la ejecución de levantamientos topográficos, con métodos convencionales y métodos fotogramétricos, los cuales se llevaron a cabo paso a paso llegando al final unos productos que se pudieron comparar.

Los datos que se obtuvieron en campo capturados con RPAS y las obtenidas con RTK, tienen resultados muy similares, esto debido a la poca complejidad del relieve, pero siempre presentando un poco más de similitud con la superficie del terreno los datos recolectados con el método fotogramétrico por la nube de puntos arrojada, los comparativos se pudieron visualizar con la ayuda de los perfiles trazados, ambos métodos son confiables para estudios de nivel de detalle básico.

Además de todo esto, se logró evidenciar que los levantamientos convencionales son necesarios y se deben combinar con el fotogramétrico debido a que en muchos casos es imposible visualizar el perímetro del predio en el ortomosaico por la presencia de árboles en las cercas como se evidencia en este predio, por tal razón en esta investigación se ejecutó esa actividad adicional para determinar el área del predio lo cual fue muy necesaria.

Para el propietario del predio, con esta información, puede tomar decisiones para determinar cuál es más conveniente, teniendo presente la distancia para calcular los costos de los materiales para la instalación de las tuberías y el tipo de tubería requerida de acuerdo a la diferencia en altura que repercute directamente en la presión de éstas.

9. Recomendaciones

- Tener presente y ejecutar los lineamientos adecuados para realizar levantamientos topográficos y así evitar retrocesos o devolución del trabajo, al emplear método RPAS para un levantamiento topográfico requiere de conocimientos tanto técnicos como profesionales acerca de las precisiones de los resultados, debido a que pueden ocurrir fallas traducido en mala calidad de los datos.
- Se debe tener presente el tipo y la complejidad de estudio a realizar, para la selección de la tecnología y método adecuado, al existir predios con mucha vegetación alta, el método de RPAS no es confiable en cuanto a MDT refiere, debido a que se necesitaría una edición de puntos y lograr un área deseada, es por eso que en estos casos se combinan métodos para mejores precisiones.
- Posicionar la cantidad suficiente de puntos fotocontrol y ubicarlos de tal forma que queden en diferentes alturas para que le genere una buena precisión a la ortofoto, cabe mencionar que dichos puntos requieren de una recolección y un postproceso adecuado para llegar a una buena precisión.
- Generar los cálculos de tiempos de rastreo, acordes a las distancias de la ubicación de las bases activas o pasivas para determinar los tiempos de posicionamiento adecuados, es un paso importante antes de cualquier trabajo en campo, logrando llevar una planeación adecuada y acorde a la norma establecida para que los resultados sean garantizados.

- Otra recomendación muy importante es referente al posicionamiento estáticos ya sea para puntos topográficos base o para fotocontrol, deben estar ubicados en áreas despejadas de vegetación, libres de obstáculos como cuerpos de agua o construcciones cercas, esto para evitar el efecto multitrayecto el cual se presenta cuando la señal de satélite GPS rebota en estructuras cercanas como las ya mencionadas, además también se aconseja esperar una buena recepción de satélites (mínimo 5) antes de comenzar a grabar.

- Al realizar trabajos con vuelos fotogramétricos se recomienda volar en horas donde la posición del sol se encuentre vertical del lugar en estudio, es decir al mediodía, esto con el fin de que las tomas fotográficas se muestren sin sombras o nubosidad y arroje buenos resultados el postproceso.

- Se recomienda realizar levantamientos topográficos mixtos, es decir, una mezcla de los dos métodos; GNSS y aerofotogrametría, con esto se logra una calidad de los datos, por ejemplo; si realizamos un levantamiento Aerofotogramétrico sin puntos de fotocontrol quedan los resultados sin una georreferenciación precisa y si realizamos un levantamiento solo por métodos GNSS se dejan de cubrir áreas de difícil acceso por el operador del equipo RTK.

10. Referencias

Aerocivil. (2015).

[https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPAS.p df](https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPAS.pdf)

Ashraf, A., Amgad, S., Abdelhamid, A., y Reda, A. (2020). Efficiency of using gnss-ppp for digital elevation model (DEM) production. *Sciendo*, 55(1), 17-28. DOI: 10.2478/arsa- 2020-0002

Avellaneda, L. y Quiroga, R. (2019). *Levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico y generación de fotografía aérea con dron, de la universidad de Cundinamarca seccional Ubaté*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Cundinamarca].

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2089/TRABJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Benassi, F., Dall'Asta, E., Diotri, F., Forlani, G., Morra Di Cella, U., Roncella, R. y Santise, M. (2017). Testing Accuracy and Repeatability of UAV Blocks Oriented with GNSS- Supported Aerial Triangulation. *Remote Sensing*. 9(2). 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs9020172>

Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., Peroni, R., Azambuja, J., Coimbra Leite Costa, F. (2018). Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. *REM - International Engineering Journal*, 71 (3). 463-470. <https://doi.org/10.1590/0370-44672017710074>

Bernuy, M. (2017). Levantamiento topográfico mediante el método fotogramétrico con RPAS. CO-INNOVA. <https://wiac.info/docview>

- Del Río, O., Gómez, F., López, N., Saenz, J. A., & Espinoza, A. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1-10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
- Días, G., Cassini, J., Pereira, M., Santos da Rocha, R. dos, y Reiss, M. (2019). Levantamiento de límites de propiedad rural utilizando fotografías obtenidas por UAV, respaldadas por puntos GNSS. *Revista Cartográfica*, (91), 35-58. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i91.450>
- Fernández, A. (2020). *Aplicación de la técnica fotogramétrica Structure From Motion en un levantamiento topográfico mediante el uso de aeronave pilotada a distancia (RPA's)*.
- [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/31116/Angel_Trabajo_Bac_hillerato_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Florentino, R. (2017). *Aplicación de fotogrametría con RPAS para mejorar la efectividad en cuantificación de la explotación en la Cantera Santa Genoveva – 2016*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23113>
- Felicísimo, A. M. (2009). Conceptos básicos, modelos y simulación. *Obtenido de http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_1.pdf*.
- González Vergara, C., Rincón Villalba, M. y Vargas Vargas, W. (2017). *Topografía. Conceptos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones

Hong, H. y Jing-Xian, G. (2009). Advanced GNSS technology of mining deformation monitoring. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1(1). 1081-1088.
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.166>

IGAC. Resoluciones. Recuperado de:

<https://www.igac.gov.co/es/clasificacionnormas/resolu0>

IGAC. (2014). Recuperado de:

<https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/adopcion.pdf>

ICONTEC. (2018)

https://www.armada.mil.co/sites/default/files/normograma_arc/mantenimiento1/NTC6271.pdf

Mallma, R. (2020). *Análisis comparativo del método fotogramétrico y convencional para el levantamiento topográfico de la Av. Ferrocarril – Pachacamac*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56130>

Martínez, P. (2018). *Utilización del GNSS para la automatización de una motoniveladora en trabajos de nivelación de superficies*. [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/9013/1/Pablo%20Roberto%20Mart%C3%ADnez%20Garc%C3%ADa.pdf>

Mendes, H., y Maia, G. (2020). Utilização da fotogrametria para levantamentos topográficos na construção civil. *Repositorio Institucional Grupo UNIS*.
<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1318>

- Moya, J. y Bastos, S. (2015). Procesamientos GNSS en línea como potenciales alternativas a diferentes aplicaciones geodésicas. *Uniciencia*, 29(2),1-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475947236001>
- Pedraza, A. (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos – 2019*. [Tesis de Pregrado, Universidad CesarVallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36819>
- Pérez, J., López, I., López, G., y Velásquez, N. (2021). Evaluación de un prototipo de RPAS para el levantamiento topográfico con imágenes RGB. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 25-32. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5862/586266250004/586266250004.pdf>
- Pinzón, E. (2019). Procesamiento de levantamientos topográficos en sectores rurales por medio de drone. [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22738/PROCESAMIENTO%20DE%20LEVANTAMIENTOS%20TOPOGRAFICOS%20EN%20SECTORES%20RURALES%20POR%20MEDIO%20DE%20DRONE.pdf;jsessionid=BDCD2ECD612721A0727E768D8991FC61?sequence=1>
- Santecchia, G. y Span, J. (2020). Comparación de dos modelos digitales de elevación generados a partir de un sistema UAV e instrumental GNSS. *Mapping: Revista Internacional de Geomática y Ciencias de la tierra*. 1-9. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/145839/CONICET_Digital_Nro.5c4645d5-6499-442c-bc53-e31c8a7f41d4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ISPRS. (2000) <https://council.science/es/member/isprs-international-society-for-photogrammetry-and-remote-sensing/>

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

Vecchi, E., Tavasci, L., De Nigris, N., y Gandolfi, S. (2021). GNSS and Photogrammetric UAV Derived Data for Coastal Monitoring: A Case of Study in Emilia-Romagna, Italy. *Marine Science and Engineering*, 9(11). 0-14. <https://doi.org/10.3390/jmse9111194Anexo>

Comparación de los levantamientos topográficos GNSS (RTK) y fotogramétrico (RPAS) en la finca Villa María, Planeta Rica- Córdoba

Anexo A: Cuadro de Coordenadas Puntos RTK

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
1	4.718.527,29	2.490.354,14	81,44	Nube RTK
2	4.718.513,44	2.490.356,73	83,84	Nube RTK
3	4.718.492,10	2.490.359,99	84,98	Nube RTK
4	4.718.473,60	2.490.359,84	85,23	Nube RTK
5	4.718.454,30	2.490.357,23	86,08	Nube RTK
6	4.718.443,68	2.490.354,85	86,76	Nube RTK
7	4.718.441,09	2.490.370,76	84,95	Nube RTK
8	4.718.447,09	2.490.371,48	82,13	Nube RTK
9	4.718.462,69	2.490.372,41	81,94	Nube RTK
10	4.718.477,40	2.490.373,00	82,1	Nube RTK
11	4.718.491,40	2.490.373,79	84,99	Nube RTK
12	4.718.511,05	2.490.366,99	83,32	Nube RTK
13	4.718.526,18	2.490.364,12	80,85	Nube RTK
14	4.718.522,49	2.490.376,57	80,48	Nube RTK
15	4.718.508,61	2.490.380,73	82,81	Nube RTK
16	4.718.487,16	2.490.385,62	81,68	Nube RTK
17	4.718.473,62	2.490.388,28	77,46	Nube RTK
18	4.718.458,87	2.490.389,60	77,78	Nube RTK
19	4.718.439,31	2.490.389,17	81,66	Nube RTK
20	4.718.434,95	2.490.408,97	84,19	Nube RTK
21	4.718.448,59	2.490.405,94	80,69	Nube RTK
22	4.718.463,14	2.490.407,27	76,09	Nube RTK
23	4.718.482,15	2.490.411,37	75,5	Nube RTK
24	4.718.498,45	2.490.408,69	79,84	Nube RTK
25	4.718.512,43	2.490.408,74	78,66	Nube RTK
26	4.718.501,51	2.490.428,59	76,23	Nube RTK
27	4.718.485,50	2.490.426,11	74,9	Nube RTK
28	4.718.465,25	2.490.423,62	75,94	Nube RTK
29	4.718.451,50	2.490.421,89	80,85	Nube RTK
30	4.718.431,87	2.490.419,70	82,91	Nube RTK
31	4.718.427,53	2.490.436,36	79,88	Nube RTK
32	4.718.444,94	2.490.437,28	81,14	Nube RTK
33	4.718.463,10	2.490.437,98	76,85	Nube RTK
34	4.718.480,07	2.490.441,63	73,51	Nube RTK
35	4.718.494,34	2.490.445,40	73,47	Nube RTK
36	4.718.485,20	2.490.463,43	72,28	Nube RTK
37	4.718.470,79	2.490.457,49	73,09	Nube RTK

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
38	4.718.455,38	2.490.453,84	77,4	Nube RTK
39	4.718.441,57	2.490.450,04	80,68	Nube RTK
40	4.718.425,27	2.490.448,99	78,22	Nube RTK
41	4.718.416,47	2.490.466,48	77,39	Nube RTK
42	4.718.433,24	2.490.466,59	79,05	Nube RTK
43	4.718.450,74	2.490.466,29	75,69	Nube RTK
44	4.718.466,72	2.490.471,16	71,81	Nube RTK
45	4.718.478,11	2.490.476,25	71,59	Nube RTK
46	4.718.473,48	2.490.486,19	71,1	Nube RTK
47	4.718.462,13	2.490.482,66	71,81	Nube RTK
48	4.718.447,22	2.490.478,82	76,73	Nube RTK
49	4.718.430,84	2.490.478,07	76,44	Nube RTK
50	4.718.409,60	2.490.473,06	75,46	Nube RTK
51	4.718.395,45	2.490.481,19	72,61	Nube RTK
52	4.718.419,90	2.490.490,95	74,59	Nube RTK
53	4.718.441,63	2.490.494,22	74,51	Nube RTK
54	4.718.458,23	2.490.497,86	71,57	Nube RTK
55	4.718.495,39	2.490.489,29	70,96	Nube RTK
56	4.718.509,40	2.490.500,07	70,65	Nube RTK
57	4.718.521,87	2.490.509,91	70,31	Nube RTK
58	4.718.534,10	2.490.520,63	70,56	Nube RTK
59	4.718.550,19	2.490.534,89	70,91	Nube RTK
60	4.718.566,52	2.490.545,27	71,21	Nube RTK
61	4.718.582,67	2.490.560,42	72,48	Nube RTK
62	4.718.602,68	2.490.574,63	72,68	Nube RTK
63	4.718.620,04	2.490.591,16	72,33	Nube RTK
64	4.718.608,88	2.490.611,04	71,44	Nube RTK
65	4.718.593,08	2.490.602,95	71,2	Nube RTK
66	4.718.579,37	2.490.591,97	71,35	Nube RTK
67	4.718.560,79	2.490.578,72	71,29	Nube RTK
68	4.718.548,15	2.490.566,88	71,12	Nube RTK
69	4.718.536,85	2.490.549,82	70,83	Nube RTK
70	4.718.521,04	2.490.538,42	70,46	Nube RTK
71	4.718.507,24	2.490.526,85	70,39	Nube RTK
72	4.718.491,10	2.490.516,29	69,97	Nube RTK
73	4.718.484,12	2.490.506,47	70,14	Nube RTK
74	4.718.477,04	2.490.495,13	70,73	Nube RTK
75	4.718.473,45	2.490.510,27	70,09	Nube RTK
76	4.718.488,25	2.490.527,72	70,07	Nube RTK
77	4.718.506,62	2.490.540,03	70,45	Nube RTK
78	4.718.521,41	2.490.548,20	70,57	Nube RTK
79	4.718.533,94	2.490.563,90	70,88	Nube RTK
80	4.718.546,09	2.490.579,31	71,06	Nube RTK
81	4.718.563,47	2.490.597,63	70,85	Nube RTK

Comparación de los Levantamientos Topográficos GNSS (RTK) y Fotogramétrico
(RPAS) en la finca Villa Maria, Planeta Rica-Córdoba

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
82	4.718.583,14	2.490.611,27	71,31	Nube RTK
83	4.718.601,71	2.490.621,46	71,55	Nube RTK
84	4.718.571,91	2.490.620,25	70,95	Nube RTK
85	4.718.559,21	2.490.604,59	70,96	Nube RTK
86	4.718.549,72	2.490.591,60	70,94	Nube RTK
87	4.718.538,19	2.490.580,81	70,95	Nube RTK
88	4.718.523,03	2.490.569,46	70,78	Nube RTK
89	4.718.505,23	2.490.556,50	70,37	Nube RTK
90	4.718.496,82	2.490.547,66	70,07	Nube RTK
91	4.718.477,70	2.490.530,82	70,1	Nube RTK
92	4.718.461,11	2.490.510,88	70,07	Nube RTK
93	4.718.444,10	2.490.508,10	71,74	Nube RTK
94	4.718.421,35	2.490.503,61	72,06	Nube RTK
95	4.718.404,17	2.490.497,37	72,33	Nube RTK
96	4.718.382,51	2.490.491,33	71,26	Nube RTK
97	4.718.369,94	2.490.498,43	71,45	Nube RTK
98	4.718.387,01	2.490.507,89	70,36	Nube RTK
99	4.718.411,92	2.490.515,92	70,15	Nube RTK
100	4.718.433,26	2.490.525,62	69,61	Nube RTK
101	4.718.449,87	2.490.529,95	70,2	Nube RTK
102	4.718.441,87	2.490.545,22	70,3	Nube RTK
103	4.718.424,21	2.490.539,40	70,1	Nube RTK
104	4.718.395,09	2.490.530,66	69,7	Nube RTK
105	4.718.369,91	2.490.520,33	70,23	Nube RTK
106	4.718.355,88	2.490.512,85	73,52	Nube RTK
107	4.718.349,97	2.490.510,05	73,9	Nube RTK
108	4.718.341,73	2.490.532,67	71,02	Nube RTK
109	4.718.369,73	2.490.543,67	69,92	Nube RTK
110	4.718.393,91	2.490.551,38	69,78	Nube RTK
111	4.718.432,15	2.490.564,53	70,18	Nube RTK
112	4.718.473,75	2.490.544,13	70,28	Nube RTK
113	4.718.494,44	2.490.566,73	70,45	Nube RTK
114	4.718.515,14	2.490.579,05	70,71	Nube RTK
115	4.718.532,88	2.490.591,27	70,77	Nube RTK
116	4.718.545,76	2.490.600,47	70,85	Nube RTK
117	4.718.550,16	2.490.604,75	70,54	Nube RTK
118	4.718.552,48	2.490.606,30	70,54	Nube RTK
119	4.718.569,19	2.490.627,54	71,2	Nube RTK
120	4.718.590,54	2.490.639,51	71,35	Nube RTK
121	4.718.585,17	2.490.650,61	71,19	Nube RTK
122	4.718.558,80	2.490.636,37	71,21	Nube RTK
123	4.718.538,39	2.490.625,87	70,65	Nube RTK
124	4.718.526,27	2.490.616,85	70,61	Nube RTK
125	4.718.521,46	2.490.600,57	70,52	Nube RTK

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
126	4.718.507,46	2.490.593,67	70,49	Nube RTK
127	4.718.500,39	2.490.587,92	70,33	Nube RTK
128	4.718.487,64	2.490.573,63	70,41	Nube RTK
129	4.718.467,45	2.490.553,60	70,17	Nube RTK
130	4.718.458,36	2.490.554,90	70,33	Nube RTK
131	4.718.472,70	2.490.571,46	70,2	Nube RTK
132	4.718.488,33	2.490.588,57	70,41	Nube RTK
133	4.718.497,45	2.490.604,66	71,02	Nube RTK
134	4.718.519,09	2.490.622,55	70,75	Nube RTK
135	4.718.532,64	2.490.637,32	72,38	Nube RTK
136	4.718.549,25	2.490.656,41	74,77	Nube RTK
137	4.718.569,33	2.490.670,20	75,68	Nube RTK
138	4.718.560,85	2.490.681,76	78,65	Nube RTK
139	4.718.540,03	2.490.665,72	77,83	Nube RTK
140	4.718.524,91	2.490.654,54	74,63	Nube RTK
141	4.718.507,21	2.490.635,82	74,61	Nube RTK
142	4.718.489,32	2.490.616,72	74,26	Nube RTK
143	4.718.471,97	2.490.604,24	73,11	Nube RTK
144	4.718.444,06	2.490.578,96	71,55	Nube RTK
145	4.718.424,34	2.490.581,48	70,16	Nube RTK
146	4.718.409,21	2.490.574,49	69,87	Nube RTK
147	4.718.387,37	2.490.565,15	69,72	Nube RTK
148	4.718.369,02	2.490.556,35	69,7	Nube RTK
149	4.718.344,73	2.490.552,45	69,73	Nube RTK
150	4.718.336,75	2.490.551,40	69,6	Nube RTK
151	4.718.331,73	2.490.568,82	69,29	Nube RTK
152	4.718.352,48	2.490.571,43	69,55	Nube RTK
153	4.718.373,44	2.490.577,17	69,6	Nube RTK
154	4.718.393,42	2.490.587,21	69,69	Nube RTK
155	4.718.417,84	2.490.596,40	70,36	Nube RTK
156	4.718.410,20	2.490.614,01	70,9	Nube RTK
157	4.718.391,04	2.490.606,22	70,01	Nube RTK
158	4.718.370,05	2.490.600,27	69,37	Nube RTK
159	4.718.354,50	2.490.593,82	69,36	Nube RTK
160	4.718.338,65	2.490.591,21	69,41	Nube RTK
161	4.718.328,09	2.490.592,19	69,43	Nube RTK
162	4.718.322,61	2.490.618,40	69,19	Nube RTK
163	4.718.337,74	2.490.617,59	69,07	Nube RTK
164	4.718.360,55	2.490.619,82	69,61	Nube RTK
165	4.718.382,41	2.490.622,92	72,51	Nube RTK
166	4.718.404,87	2.490.625,90	72,9	Nube RTK
167	4.718.438,22	2.490.593,14	71,18	Nube RTK
168	4.718.451,38	2.490.604,40	72,2	Nube RTK
169	4.718.465,76	2.490.614,99	73,88	Nube RTK

Comparación de los Levantamientos Topográficos GNSS (RTK) y Fotogramétrico
(RPAS) en la finca Villa Maria, Planeta Rica-Córdoba

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
170	4.718.477,56	2.490.627,53	76,02	Nube RTK
171	4.718.493,01	2.490.644,72	78,97	Nube RTK
172	4.718.502,61	2.490.658,35	80,7	Nube RTK
173	4.718.512,31	2.490.669,64	82,06	Nube RTK
174	4.718.523,33	2.490.682,48	84,86	Nube RTK
175	4.718.541,01	2.490.704,68	88,18	Nube RTK
176	4.718.528,04	2.490.717,23	87,59	Nube RTK
177	4.718.515,38	2.490.704,81	86,33	Nube RTK
178	4.718.503,99	2.490.694,19	83,38	Nube RTK
179	4.718.491,99	2.490.681,61	79,81	Nube RTK
180	4.718.480,33	2.490.667,51	77,34	Nube RTK
181	4.718.471,17	2.490.658,17	75,74	Nube RTK
182	4.718.452,97	2.490.646,11	76,01	Nube RTK
183	4.718.436,37	2.490.635,42	73,48	Nube RTK
184	4.718.428,74	2.490.620,92	71,88	Nube RTK
185	4.718.418,49	2.490.640,54	75,3	Nube RTK
186	4.718.436,02	2.490.654,68	76,82	Nube RTK
187	4.718.456,67	2.490.665,67	77,27	Nube RTK
188	4.718.474,60	2.490.686,07	79,63	Nube RTK
189	4.718.486,46	2.490.700,66	82,57	Nube RTK
190	4.718.502,85	2.490.716,34	86,2	Nube RTK
191	4.718.514,20	2.490.730,02	87,41	Nube RTK
192	4.718.500,42	2.490.741,01	87,73	Nube RTK
193	4.718.488,23	2.490.728,47	86,29	Nube RTK
194	4.718.477,56	2.490.716,13	85,11	Nube RTK
195	4.718.467,12	2.490.700,57	83,23	Nube RTK
196	4.718.453,47	2.490.684,70	82,29	Nube RTK
197	4.718.443,34	2.490.676,54	81,25	Nube RTK
198	4.718.426,37	2.490.661,84	79,35	Nube RTK
199	4.718.409,60	2.490.645,49	75,42	Nube RTK
200	4.718.390,96	2.490.633,68	73,9	Nube RTK
201	4.718.376,28	2.490.631,86	71,79	Nube RTK
202	4.718.356,31	2.490.632,47	69,47	Nube RTK
203	4.718.337,35	2.490.630,61	69,17	Nube RTK
204	4.718.321,32	2.490.629,28	69,38	Nube RTK
205	4.718.317,36	2.490.643,97	69,46	Nube RTK
206	4.718.337,42	2.490.647,69	69,52	Nube RTK
207	4.718.360,29	2.490.648,73	69,63	Nube RTK
208	4.718.381,31	2.490.652,97	71,35	Nube RTK
209	4.718.401,88	2.490.654,54	75,11	Nube RTK
210	4.718.411,28	2.490.672,56	75,54	Nube RTK
211	4.718.385,80	2.490.670,63	70,98	Nube RTK
212	4.718.366,57	2.490.669,74	69,44	Nube RTK
213	4.718.345,09	2.490.667,06	69,45	Nube RTK

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
214	4.718.323,75	2.490.660,55	69,47	Nube RTK
215	4.718.314,09	2.490.658,96	69,53	Nube RTK
216	4.718.310,22	2.490.677,71	70,06	Nube RTK
217	4.718.325,57	2.490.682,03	69,59	Nube RTK
218	4.718.346,86	2.490.685,44	69,55	Nube RTK
219	4.718.365,98	2.490.690,90	69,37	Nube RTK
220	4.718.385,32	2.490.690,21	70,54	Nube RTK
221	4.718.417,89	2.490.695,81	74,6	Nube RTK
222	4.718.428,01	2.490.723,95	74,51	Nube RTK
223	4.718.404,57	2.490.718,97	71,38	Nube RTK
224	4.718.381,06	2.490.714,30	71,6	Nube RTK
225	4.718.360,13	2.490.707,49	69,68	Nube RTK
226	4.718.342,54	2.490.701,29	69,65	Nube RTK
227	4.718.320,12	2.490.693,51	70,5	Nube RTK
228	4.718.306,52	2.490.694,89	71,39	Nube RTK
229	4.718.310,09	2.490.718,95	74,08	Nube RTK
230	4.718.338,14	2.490.724,82	71,63	Nube RTK
231	4.718.361,67	2.490.729,31	71,68	Nube RTK
232	4.718.418,76	2.490.739,86	72,31	Nube RTK
233	4.718.438,66	2.490.689,51	80,17	Nube RTK
234	4.718.457,10	2.490.706,65	82,57	Nube RTK
235	4.718.473,80	2.490.727,25	83,58	Nube RTK
236	4.718.495,32	2.490.747,26	87,06	Nube RTK
237	4.718.483,14	2.490.760,52	83,23	Nube RTK
238	4.718.467,09	2.490.749,06	80,12	Nube RTK
239	4.718.449,51	2.490.742,13	77,23	Nube RTK
240	4.718.437,93	2.490.753,09	74,53	Nube RTK
241	4.718.461,14	2.490.769,52	76,88	Nube RTK
242	4.718.471,81	2.490.773,40	78,84	Nube RTK
243	4.718.457,95	2.490.790,10	75,37	Nube RTK
244	4.718.441,55	2.490.782,90	73,94	Nube RTK
245	4.718.418,47	2.490.773,33	71,85	Nube RTK
246	4.718.418,20	2.490.796,15	71,35	Nube RTK
247	4.718.430,59	2.490.814,93	71,33	Nube RTK
248	4.718.443,92	2.490.800,22	73,8	Nube RTK
249	4.718.348,77	2.490.748,27	72,82	Nube RTK
250	4.718.325,20	2.490.745,62	77,5	Nube RTK
251	4.718.340,19	2.490.771,04	74,9	Nube RTK
252	4.718.355,88	2.490.761,84	71,81	Nube RTK
253	4.718.365,86	2.490.780,88	71,28	Nube RTK
254	4.718.353,35	2.490.788,27	74,61	Nube RTK
255	4.718.364,78	2.490.806,96	74,04	Nube RTK
256	4.718.377,87	2.490.798,96	71,3	Nube RTK
257	4.718.395,76	2.490.816,41	71,4	Nube RTK

PUNTO	ESTE	NORTE	Elevación	Código
258	4.718.382,54	2.490.824,80	73,35	Nube RTK
259	4.718.376,46	2.490.828,90	74,09	Nube RTK
260	4.718.387,12	2.490.845,58	73,22	Nube RTK
261	4.718.397,69	2.490.837,34	72,36	Nube RTK
262	4.718.412,68	2.490.827,64	71,29	Nube RTK
263	4.718.416,81	2.490.834,24	71,35	Nube RTK
264	4.718.404,88	2.490.845,32	72,13	Nube RTK
265	4.718.392,95	2.490.856,50	74,02	Nube RTK

Nota. Elaboración propia