PASANTÍA APOYO EN LA DIGITALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BASE Y PROCESAMIENTO DEL LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO PARA EL DISEÑO Y LICENCIAMIENTO AMBIENTAL DEL PROYECTO PARQUE SOLAR SAN MARTÍN - EL PASO, CESAR

XIMENA ALEJANDRA POVEDA RIVERA

TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERA TOPOGRÁFICA BAJO LA DIRECCIÓN DE:

MSc. JOSÉ MIGUEL CEPEDA RENDÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del director

_____

Firma del evaluador

BOGOTÁ D.C. DÍA ___MES___AÑO____

ARTÍCULO 117

Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales – Bogotá D.C, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sin embargo, las ideas emitidas por el autor son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la universidad (Artículo 117 del Acuerdo 029 de 1998).

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero a Dios quien me ha dado fortaleza para culminar este proyecto académico y personal.

A mi mamá quien me formó con buenos valores y que aun teniendo miedo de soltarme me permitió seguir mi camino y me ha apoyado a la distancia para seguir adelante con mis sueños y proyectos.

Al ingeniero Johan Darío Montero y Eder Daynel Quitian quienes me brindaron la oportunidad de realizar la pasantía y compartieron sus conocimientos como bases para mi vida profesional.

Al ingeniero José Miguel Cepeda Rendón quien estuvo apoyando este proceso académico como profesor y director de este proyecto de grado. A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas que me dio la oportunidad de formarme profesionalmente.

RESUMEN

Una planta fotovoltaica es una central eléctrica que convierte la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico se produce cuando los fotones de la luz, al impactar sobre un determinado material, consiguen desplazar un electrón, lo que genera una corriente continua. Una central fotovoltaica está compuesta básicamente por módulos fotovoltaicos y un inversor. Los paneles fotovoltaicos son los encargados de transformar la radiación solar. A su vez, el inversor convierte la corriente continua en corriente alterna de características similares a las de la red eléctrica.

En este tipo de sistemas solares toda la electricidad generada se inyecta a la red de distribución eléctrica. Este funcionamiento conlleva un mejor rendimiento de la instalación porque de este modo se aprovecha toda la energía generada. (Planas, 2021).

Las inconformidades en contra del servicio brindado por la empresa Electricaribe en la Costa Caribe, especialmente en poblaciones del Cesar, siguen a la orden del día. Tres días sin el servicio de energía llevaron a que los habitantes del corregimiento de Bohórquez, jurisdicción de Campo de la Cruz, se tomaran la carretera oriental para evitar el paso de vehículos y, al tiempo, llamar la atención de las autoridades. El resultado de los disturbios fue una persona muerta y tres más heridas.

El alcalde de El paso, Luis Alberto Murgas Pupo, aseguró que teme que suceda una protesta similar debido a que el servicio de energía prestado por Electricaribe en su municipio y el corregimiento de La Loma es deficiente. “Estamos haciendo un llamado a Electricaribe porque el fluido eléctrico se fue más de diez veces en un día en el corregimiento de La Loma, y algunas veces en El Paso, entonces la comunidad está pensando en tomarse las vías y no lo podemos permitir. Desde la Alcaldía le hago un llamado a la doctora Mónica Hoyos para que intervenga la situación y que no se presenten nuevos apagones en los próximos días”. (Jiménez, 2014).

La metodología incluirá amarre a coordenadas de la Red Geodésica Nacional de Colombia mediante tecnología GNSS y Levantamiento Aero fotogramétrico y Topográfico mediante RPA (Aeronave Remotamente Tripulada). Toda la información geográfica será entregada con base al sistema de referencia oficial de Colombia (MAGNA-SIRGAS) y utilizando como sistema de proyección las coordenadas planas de Gauss Krüger, Origen Único Nacional (CTM12), época de referencia 2018,0.

ABSTRACT

A photovoltaic plant is a power plant that converts solar energy into electricity through the photovoltaic effect. The photovoltaic effect occurs when photons of light, upon impacting a certain material, displace an electron, which generates a direct current. A photovoltaic power plant basically consists of photovoltaic modules and an inverter. The photovoltaic panels are responsible for transforming solar radiation. In turn, the inverter converts the direct current into alternating current with characteristics similar to those of the electrical grid.

In this type of solar system, all the electricity generated is fed into the electricity distribution network. This operation leads to a better performance of the installation because in this way all the energy generated is used (Planas, 2021).

Non-conformities against the service provided by Electricaribe on the Caribbean Coast, especially in the towns of Cesar, continue to be the order of the day. Three days without energy service led the inhabitants of the town of Bohórquez, jurisdiction of Campo de la Cruz, to take over the eastern highway to prevent the passage of vehicles and, at the same time, to call the attention of the authorities. The result of the disturbances was one person killed and three more injured.

The mayor of El Paso, Luis Alberto Murgas Pupo, assured that he fears that a similar protest will happen because the energy service provided by Electricaribe in his municipality and the corregimiento of La Loma is deficient. "We are making a call to Electricaribe because the power went out more than ten times in one day in the town of La Loma, and sometimes in El Paso, then the community is thinking of taking the roads and we can not allow it. From the Mayor's Office I call on Dr. Mónica Hoyos to intervene in the situation so that there are no new blackouts in the coming days". (Jiménez, 2014).

The methodology will include mooring to coordinates of the Colombian National Geodetic Network using GNSS technology and aerial photogrammetric and topographic survey using RPA (Remotely Piloted Aircraft). All geographic information will be delivered based on the official reference system of Colombia (MAGNA-SIRGAS) and using as projection system the flat coordinates of Gauss Krüger, Unique National Origin (CTM12), reference epoch 2018.0.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 5
ABSTRACT 6
1. INTRODUCCIÓN 9
2. ANTECEDENTES 10
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 11
4. OBJETIVOS 12
4.1. OBJETIVO GENERAL 12
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
5. MARCO CONCEPTUAL 13
5.1. MAGNA SIRGAS 13
5.2. IDEAM 13
5.3. IGAC 14
5.4. CARTOGRAFÍA 14
5.5. FOTOGRAMETRÍA 14
5.6. GNSS 15
5.7. RTK- PPK 15
5.8. GEORREFERENCIACIÓN 17
5.9. TECNOLOGÍA UAV 17
5.10. NUBE DE PUNTOS DENSA 17
5.11. ORTOIMÁGEN 18
5.12. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE 19
5.13. MODELO DIGITAL DE TERENO 19
5.14. GEODATABASE 20
5.15. PARQUE SOLAR 20
6. METODOLOGÍA 21
7. RESULTADOS 22
7.1. AMARRE DE COORDENADAS NACIONALES (MAGNA SIRGAS CTM-12) 22
7.2. CÁLCULO Y AJUSTE GNSS (POST-PROCESO) 23
7.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO-RTK 26
7.4. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO 28
7.4.1. DISEÑO PRELIMINAR DEL VUELO 28
7.4.2. ADQUISICIÓN DE AEROFOTOGRAFIAS CON TECNOLOGÍA UAV 30
7.4.3. PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO 32
7.4.4. ORIENTACIÓN INICIAL 32
7.4.5. FOTOCONTROL 33
7.4.6. NUBE DE PUNTOS DENSA 34
7.4.7. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM) 35
7.4.8. ORTOIMAGEN 36
7.4.9. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) 37
7.5. BASE CARTOGRÁFICA 38
8. EQUIPOS UTILIZADOS 41
8.1. RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV REFERENCIA IBASE 41
8.2. RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV REFERENCIA I50 41
8.3. RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV SERIE i73 42
8.4. UAV MARCA eBee X 42
9. CONCLUSIONES 43
10. BIBLIOGRAFÍA 44

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Funcionamiento RTK. Fuente: HelixNorth,2021 16
Ilustración 2. Funcionamiento PPK. Fuente: HelixNorth, 2021. 16
Ilustración 3. Nube de Puntos Densificada. Fuente: Javier Fernández Lozano, 2016. 18
Ilustración 4. DSM vegetación presente en el suelo. Fuente: franzpc,2018. 19
Ilustración 5. Modelo Digital de Terreno. Fuente: franzpc,2018. 20
Ilustración 6. Posicionamiento GNSS estático 23
Ilustración 7. Triangulación GNSS vértice proyecto. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022. 24
Ilustración 8. Levantamiento detalles GNSS RTK Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023 26
Ilustración 9. Plan de vuelos área del proyecto Fuente: CIGMAP S.A.S 2023 29
Ilustración 10. Vuelo fotogramétrico 30
Ilustración 11. Fotografías aéreas del proyecto Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Amarre de coordenadas Magna Sirgas CTM 12 22
Figura 2. Ubicación de puntos de control terrestre (GCP) Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023 28
Figura 3. Vuelos área del proyecto Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023 29
Figura 4. Centros de foto y traslapes 32
Figura 5. Clasificación nube de puntos densa Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023 34
Figura 6. Modelo dígital de superficie Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023 35
Figura 7. Ortofotomosaico con resolución 5cm 36
Figura 8. Modelo digital de terreno 37
Figura 9. Modelo digital de terreno vista en perspectiva. Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023 38
Figura 10. Cartografía base 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geocéntricas y geográficas vértices base del proyecto - Época 2022,16 y 2022,19. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022 25
Tabla 2. Coordenadas geocéntricas y geográficas vértices base del proyecto - Época 2018.0. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022. 25
Tabla 3. Coordenadas GPS proyección Magna Sirgas Origen Nacional. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022. 26
Tabla 4. Coordenadas puntos de control terrestre (GCP) 27
Tabla 5. Reporte RMS proceso de aero-triangulación de puntos de control terrestre Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023 33
Tabla 6. Distribución de la clasificación de la nube de puntos densa 35
Tabla 7. Elementos capturados cartografía base Fuente: CIGMAP S.A.S - 2023 39
Tabla 8. Sistema GPS CHCNAV iBase 41
Tabla 9. Sistema GPS CHCN AVI60 41
Tabla 10. Sistema GPS CHCNAV I73 42
Tabla 11. Especificaciones UAV eBee X 42

1. INTRODUCCIÓN

Las centrales fotovoltaicas, también conocidas como granjas solares, desempeñan un papel fundamental en la transición hacia una matriz energética más sostenible y limpia. Estas instalaciones aprovechan la radiación solar para convertirla en electricidad de forma directa y sin generar emisiones de gases de efecto invernadero.

En este contexto, los modelos digitales de terreno (MDT) desempeñan un papel crucial al ofrecer información detallada sobre las características topográficas del terreno donde se planea construir una planta solar. Estos modelos permiten un diseño eficiente de la instalación, optimizando la ubicación y orientación de los paneles solares para maximizar la captación de radiación solar. Asimismo, los MDT son útiles para prever posibles sombreados y planificar la infraestructura necesaria de manera adecuada.

Los proyectos de centrales fotovoltaicas no solo generan beneficios ambientales, sino que también tienen un impacto social positivo significativo. En primer lugar, contribuyen a la diversificación de la matriz energética (conjunto de recursos energéticos disponibles en un territorio determinado, representa la cantidad de energía disponible en un lugar), reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y disminuyendo la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero, lo cual tiene un resultado directo en la calidad del aire y la salud de las comunidades cercanas.

Además, la instalación y operación de centrales fotovoltaicas fomentan la generación de empleo local. Durante la construcción, se requiere mano de obra para la instalación de paneles solares, construcción de infraestructuras y sistemas de conexión a la red eléctrica. Una vez en funcionamiento, estas plantas también demandan personal para su mantenimiento y operación continua. Esto impulsa la economía local, generando oportunidades de empleo y desarrollo en la región. Otro beneficio social de estos proyectos es su capacidad para mejorar la infraestructura y el acceso a servicios básicos en áreas remotas o rurales. Al instalar centrales fotovoltaicas en estas zonas, se puede proporcionar energía eléctrica a comunidades que previamente carecían de acceso a la red eléctrica convencional. Esto tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las personas, permitiendo el acceso a iluminación, refrigeración, comunicación y otras necesidades básicas.

En resumen, los proyectos de centrales fotovoltaicas y el uso de modelos digitales de terreno no solo contribuyen a la transición hacia una energía más limpia y sostenible, sino que también generan beneficios sociales y económicos. Estos proyectos mejoran la calidad del aire, crean empleo local, fomentan el desarrollo en áreas rurales y amplían el acceso a servicios básicos. De esta manera, las centrales fotovoltaicas se erigen como una solución integral y prometedora para abordar problemáticas ambientales y sociales en la búsqueda de un futuro energético más sostenible.

2. ANTECEDENTES

En El Paso, Cesar, estará la planta de energía renovable más grande de Colombia, la generación de energía de esta planta podrá suplir las necesidades de 102 mil hogares.

El presidente de Colombia, Iván Duque, inauguró en el municipio de El Paso, en el departamento del Cesar, la planta de energía renovable más grande del país, con una capacidad instalada de 86,2 megavatios y generación de 176 GWh al año. Esta planta, además, reducirá las emisiones de CO2 a la atmósfera en 107 mil toneladas por año.

Por su parte, María Fernanda Suárez, ministra de Minas y Energía, destacó que el Parque Solar El Paso "contribuirá al desarrollo de un sistema de energía eficiente, confiable y sostenible", al tiempo que reconoció que proyectos como este "representan nuevas oportunidades de empleo, inversión y desarrollo para el país y las regiones", en este caso la Costa Norte de Colombia.

El Paso funciona con 250.000 paneles solares instalados sobre una innovadora estructura que cuenta con tecnología de punta llamada "tracker" (seguidor), dicha estructura se va direccionando hacia donde esté el sol para maximizar la producción de energía. Su extensión ocupa un área cercana a las 210 hectáreas, espacio equivalente a 227 canchas de fútbol. (Urbana, 2019).

El gobierno de Colombia ha puesto foco en una política energética que esté en el centro de la recuperación económica y social. Por ello, su propuesta está dirigida principalmente hacia fuentes de generación de energía más limpia y a aprovechar los recursos de la nación para impulsar desarrollo sostenible. Actualmente se han presentado diferentes propuestas para la construcción y/o operación de proyectos de generación de energía fotovoltaica que alcanzan una capacidad de 7515.18 MW en año de entrada en operación. (WTW, 2020).

En los últimos tres años, Colombia ha dado un salto considerable para lograr la transición energética. Esto se debe a los diferentes proyectos de energía solar que se han venido desarrollando y que le permitirá aumentar la capacidad instalada de generación de energía en unos 2500 megavatios (MW). (Solmic, 2022).

Desde el 2018 hasta la fecha se han inaugurado 17 parques fotovoltaicos. Actualmente el país cuenta con 17 parques fotovoltaicos, 9 proyectos de autogeneración a gran escala y más de 1500 proyectos solares de autogeneración a pequeña escala que generan una capacidad neta de 388 MW. (Solmic, 2022).

De las plantas solares, La Sierpe es el más reciente proyecto en entrar en operación pues fue inaugurado en enero del 2022. La Sierpe, que está ubicada en Sucre, cuenta con 65520 paneles solares distribuidos en 65 hectáreas que beneficiarán a 28500 familias, gracias a la producción de 4'280.000 kilovatios al mes. Además de esto, la planta contribuirá a la reducción de 18.118 toneladas de CO2 cada año. (Solmic, 2022).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La afectación al planeta generada por décadas de emisión excesiva de gases de efecto invernadero ha promovido impactos negativos en el medio ambiente a nivel mundial causando el calentamiento global. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en el 2019 se situaron en un máximo histórico registrando un crecimiento anual de 1,3% desde 2010. Los combustibles fósiles son un gran auspiciador de emisiones de dióxido de carbono, representando 2/3 por la quema de estos.

Con base en esto, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sus países miembros han impulsado y adoptado medidas que permitan continuar con un proceso industrial pero amigable con el medio ambiente, en busca de reducir los gases de efecto invernadero y el aumento en la temperatura a nivel mundial por medio de conferencias y acuerdos como lo son la Agenda 2030 y el Acuerdo de París.

En Colombia los planes de desarrollo tanto a nivel nacional como regional han optado por incluir estas iniciativas y buscar un desarrollo sostenible. En este sentido, una de las principales iniciativas que se llevan a cabo en el país son las referentes a generación de fuentes no convencionales de energía renovable.

El cesar es un departamento con fuerte potencial para la generación de fuentes convencionales de energía no renovables, como lo son la solar, eólica y de cobre. El departamento presenta amplios sectores con un promedio entre siete y nueve horas de sol al día generando radiaciones entre 5 y 5,5Kwh/m2. En el ámbito de la energía eólica se presentan datos de que puede llegar a tener velocidades de vientos de hasta 6m/s.

En 2019 fue inaugurado por parte del Grupo Enel Green Power Colombia el Parque Solar El Paso, siendo hoy en día el más grande de Colombia cuenta con aproximadamente 250mil paneles que permiten generar energía para aproximadamente 400.000 personas por medio de una generación anual de 176Gwh aproximadamente.

Adicionalmente, en el corregimiento de La Loma, se está desarrollando el proyecto solar con su mismo nombre, que será de mayor tamaño al Parque El Paso. La importancia de este proyecto radica en que se contará con cerca de 462.000 paneles solares y estará unificado con el Sistema Interconectado Nacional (SIN), comprende un área de 388 hectáreas y se estima que la nueva planta solar pueda tener una capacidad instalada de 173 MW que permitirá generar al año 320 Gwh por cerca de 20 años. Con esta nueva planta, el municipio El Paso estaría generando al país 236.995kWh al día durante los próximos diez años. (López, 2022)

4. OBJETIVOS

4.1.OBJETIVO GENERAL

- Procesar la información obtenida del levantamiento topográfico y aero fotogramétrico del área de estudio y sus márgenes para la generación de un modelo digital de terreno y la digitalización de la cartografía base del parque solar San Martín.
-

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar coordenadas precisas a partir de vértices topográficos en el área de estudio mediante el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS).
- Clasificar los puntos de terreno de la nube de puntos densa obtenida del vuelo fotogramétrico mediante el software Global Mapper.
- Generar el Modelo Digital de Terreno (DTM) de alta resolución del área de estudio a partir de la información base topográfica levantada por métodos directos e indirectos (fotogrametría).
- Digitalizar la cartografía base e implementarla en una base de datos espacial (Geodatabase).

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. MAGNA SIRGAS

En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi es el organismo nacional encargado de determinar, establecer, mantener y proporcionar los sistemas de referencia geodésico, gravimétrico y magnético (Decretos No. 2113/1992 y 2018/2004), 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. Ésta se halla conformada por 60 estaciones GPS de cubrimiento nacional de las cuales, 8 son vértices SIRGAS y 16 corresponden con la red geodinámica CASA (Central and South American Geodynamics Network). Éstos fueron determinados durante los años 1994, 1995 y 1997 con el propósito de suministrar una plataforma confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país.

Dentro de este marco, uno de los objetivos principales en el procesamiento de los datos GPS fue su integración al Sistema de Referencia Geocéntrico, definido por el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF), a través de su vinculación con el sistema SIRGAS, es decir, con el ITRF94 época 1995,4. Esta integración garantiza que las coordenadas de la red básica nacional estén definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para el cálculo de las órbitas de los satélites GPS, que son distribuidas a nivel mundial por el Servicio Internacional GPS (IGS: International GPS Service). De esta manera, los vértices MAGNA-SIRGAS son utilizados como puntos de empalme y sus coordenadas, junto con las efemérides del IGS, permiten obtener posiciones geodésicas referidas al ITRF vigente, el cual, a su vez, coincide con la nueva definición del WGS84(G1150). (IGAC, 2004).

5.2. IDEAM

El IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia es una institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores públicos, privado y la ciudadanía en general. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1995)

Para dar apoyo técnico-científico a los organismos que forman el Sistema Nacional Ambiental (SINA), la Ley 99 de 1993 creó el IDEAM como establecimiento público adscrito al Ministerio del Medio Ambiente. Inició sus labores el 1° de marzo de 1995 integrando algunas de las funciones del HIMAT (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras), de INGEOMINAS (Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química), del IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi y del INDERENA (Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente). El IDEAM fue creado bajo la ley 99 de 1993, se organizó y estableció a través del decreto 1277 de 1994 y se adoptaron

los estatutos bajo el decreto 2241 de 1995. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 1995).

5.3. IGAC

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia; elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble; realizar el inventario de las características de los suelos; adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial; capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la plataforma de infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE).

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi está comprometido en producir, proveer y divulgar información y conocimientos confiables y oportunos, en geodesia, geografía, cartografía, agrología, catastro, tecnologías geoespaciales y transferencia del conocimiento en temas misionales, que cumplan con las disposiciones legales, técnicas y otros requisitos, con las necesidades y expectativas de los clientes y grupos de interés, con el mejoramiento continuo de la eficacia, eficiencia y efectividad del Sistema de Gestión Integrado, a través de la implementación de herramientas de gestión, fortalecimiento de las competencias del personal, la asignación de recursos, la mejora en la infraestructura física y tecnológica, aplicación de mejores prácticas profesionales y el análisis del entorno y sus cambios con el fin de contribuir al logro de los objetivos institucionales y de manera específica. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1935).

5.4. CARTOGRAFÍA

La cartografía es la rama de la geografía encargada de la representación gráfica de un área geográfica, usualmente en términos bidimensionales y convencionales. Es decir que la cartografía es el arte y la ciencia de hacer, analizar, estudiar y comprender todo tipo de mapas. Por extensión, es también el conjunto de mapas y documentos similares que existen.

La cartografía es una ciencia antigua pero vigente. Intenta satisfacer el deseo del ser humano de representar visualmente la superficie del planeta Tierra, cosa relativamente difícil dado que se trata de un geoide.

Para ello, esta ciencia acude a un sistema de proyecciones que intenta servir de equivalencia entre la esfera y el plano. Así construye un equivalente visual de los contornos de la geografía terrestre, su relieve, sus ángulos, todo sometido a una escala específica y a un criterio previo, que elige qué cosas son importantes de representar y cuáles no. (Editorial Etecé, 2022).

5.5. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría es una técnica para obtener mapas planos y modelos tridimensionales a través de la fotografía aérea. La fotogrametría moderna tiene un extenso uso para aplicaciones industriales y científicas en diversos campos como Inspección de activos,

Construcción, Geotecnia, Geología, Geofísica, Obras civiles, Topografía, Catastro, Arqueología y más.

Esta técnica tiene alrededor de 50 años de desarrollo y continúa perfeccionándose hacia mayores precisiones y nuevas aplicaciones: desde la innovación en el uso de drones y cámaras de alta resolución, hasta la incorporación de tecnologías adicionales como el LIDAR Light Detection and Ranging (detección y medición de la luz), y los avances en software y algoritmos de interpretación y generación de resultados para análisis de distintos tipos de activos industriales como torres de telecomunicaciones, aerogeneradores eólicos, fachadas, tubería.

La fotogrametría permite generar múltiples resultados de importancia industrial como ortomosaicos, ortomapas, planos, modelos digitales de terreno, gemelos digitales de activos, curvas de nivel, volumetría, planos 2D y 3D, entre otros entregables; por esto es altamente recomendado implementar el uso de la fotogrametría en cualquier proyecto en el cual se necesiten saber las características físicas superficiales de alguna zona o activo de interés. (Sáinz, 2020).

5.6. GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) o SSNG (Sistema Satelital de Navegación Global) son los acrónimos que se utilizan para agrupar los diferentes sistemas de navegación por satélite que con cobertura global proveen un posicionamiento geoespacial de una manera autónoma.

Este concepto agrupa a diferentes sistemas como son el GPS, Glonass, Galileo o Compass entre otros, permitiendo posicionamientos muy precisos basándose en señales emitidas por estos satélites siendo múltiples sus aplicaciones como la geo información o en investigaciones geocientíficas.

Estos Sistemas de Posicionamiento Global son sistemas pasivos de navegación basados en las emisiones de radio frecuencia de los satélites emisores los cuales proporcionan una referencia espacio-temporal independientemente de las condiciones atmosféricas del momento, todo ello en cualquier lugar de la Tierra y de manera ininterrumpida. El sistema está compuesto por una red de satélites, radios bases terrestre y receptores GPS que permiten casi todas las posibilidades de navegación y posicionamiento en cualquier parte del mundo a cualquier hora sin importar las condiciones meteorológicas. (Acuarel, 2018).

5.7. RTK- PPK

RTK (Real Time Kinematic) indica que es un sistema que funciona en tiempo real.

En la siguiente imagen se puede observar que, tanto la base como el dron, reciben lecturas de las diferentes constelaciones de satélites disponibles. Pero también se puede observar

cómo se requiere de un enlace de datos constante entre la base y el dron en tiempo real para que se pueda obtener esa solución centrimétrica que se necesita.

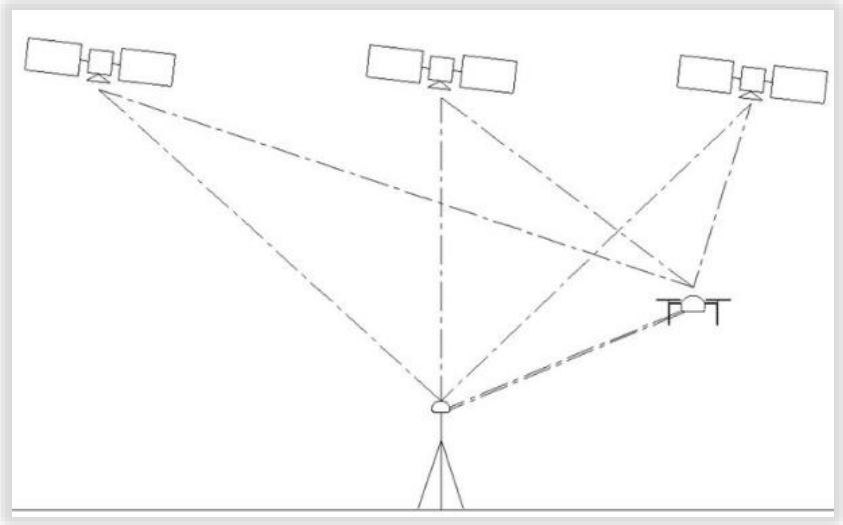


Ilustración 1. Funcionamiento RTK. Fuente: HelixNorth,2021

PPK (Post Processed Kinematic) realiza un proceso de datos a posteriori.

En la imagen vemos que, tanto la base como el dron, reciben lecturas de las diferentes constelaciones de satélites. Pero, a diferencia del RTK, no hay un enlace de datos constante entre el dron y la base, ya que ambos registran en una memoria esa información que después del vuelo deberemos descargar, normalmente en archivos con formato RINEX, para postprocesar y obtener la solución. (HelixNorth, 2021).

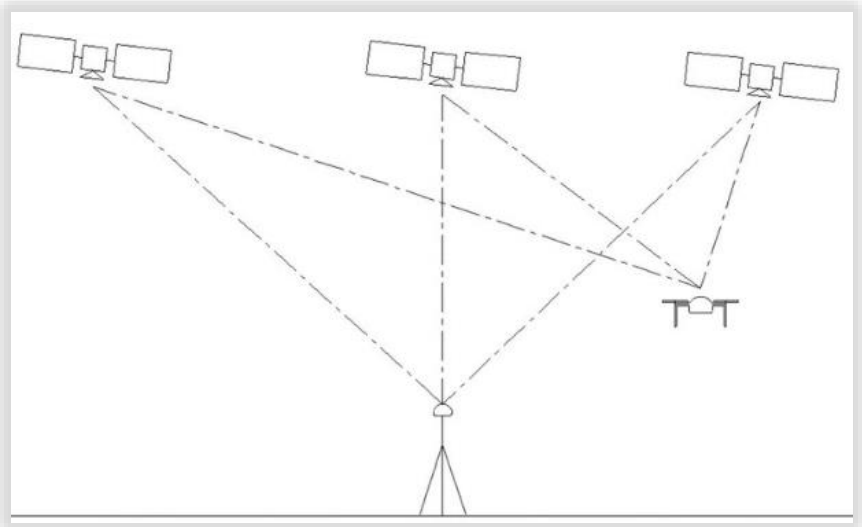


Ilustración 2. Funcionamiento PPK. Fuente: HelixNorth, 2021.

5.8. GEORREFERENCIACIÓN

La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra. Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen y el sistema destino. Este proceso es determinado con una relación de posiciones entre elementos espaciales en ambos sistemas, de manera que, conociendo la posición en uno de los sistemas de coordenadas es posible obtener la posición homóloga, en el otro sistema. La georreferenciación se utiliza frecuentemente en los sistemas de información geográfica (SIG) para relacionar información vectorial e imágenes ráster de las que se desconoce la proyección cartográfica, el sistema geodésico de referencia, o las distorsiones geométricas que afectan a la posición de los datos.

Para poder realizar una georreferenciación es necesario identificar sin lugar a equivocación puntos homólogos en los sistemas de coordenadas origen y destino, lo que permite calcular los parámetros de la transformación. Algunos de los factores que afectan a la calidad de la rectificación son el número de puntos homólogos identificados y la distribución de estos puntos en la superficie del mapa. (Dávila Martínez & Camacho Arranz, 2012).

5.9.TECNOLOGÍA UAV

Son probablemente una de las tecnologías más avanzadas en el campo de la robótica, aeronáutica y electrónica. El nombre técnico de los drones es “Vehículos aéreos no tripulados” (UAVs o VANT). Son pequeños vehículos aéreos no tripulados con una gama amplia de tamaños, formas y funciones, controlados por sistemas de tierra (control remoto).

Los drones se han desarrollado y puesto en servicio hace muy pocos años, éstos pueden ser usados en infinidad de tareas que el humano no puede o no quiere realizar, o simplemente son demasiado peligrosas como la exploración o la limpieza de residuos tóxicos, y como no podía ser de otro modo, para fines bélicos. Generalmente están equipados con sistemas de posicionamiento global (GPS), los de tipo militar con cámaras de infrarrojos de última generación, láser o misiles guiados y otros sistemas de alto secreto. Algunos campos de aplicación son: Medio ambiente, Agricultura, Ganadería, Bosques. Geología, Construcción e inspecciones, Control y análisis de multitudes, Exploración de lugares de difícil acceso, Movilidad y Tráfico. (Garciglia, 2020).

5.10. NUBE DE PUNTOS DENSA

A veces conocida como visualización 3D, una nube de puntos 3D es el paso previo a la creación de un modelo 3D preciso del mundo real. Una nube de puntos es una colección de un enorme número de mediciones: un conjunto de puntos de datos o coordenadas en tres dimensiones. Es el punto de partida de una realidad digital, un mapa de puntos en el espacio que se procesan para convertirse en modelos 3D de casi cualquier objeto. A gran escala, esto incluye edificios, fábricas, plantas de fabricación, escenas de crímenes/accidentes, infraestructuras civiles, lugares históricos, paisajes urbanos y mucho más.

Los modelos 3D basados en datos de nubes de puntos se utilizan en un número creciente de industrias para la visualización, la planificación y la personalización. Los datos tienen el poder de transformar y están transformando la forma en la que se planifican y mantienen los edificios, mejorando la precisión de la información disponible para todos, desde los arquitectos hasta los directores de operaciones. (TopoTienda, 2020).

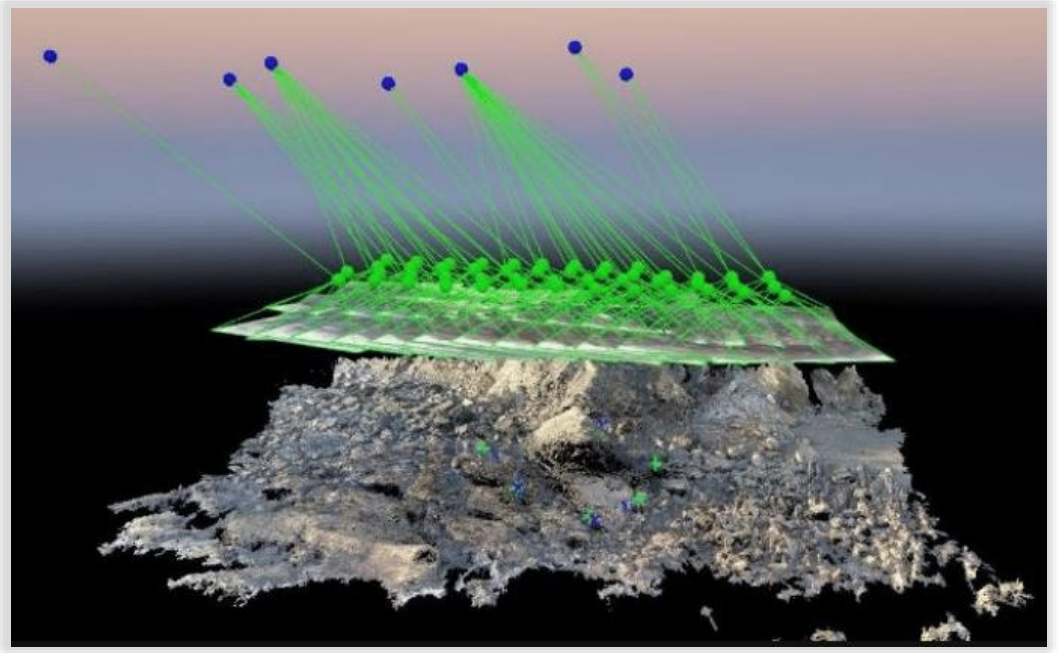


Ilustración 3. Nube de Puntos Densificada. Fuente: Javier Fernández Lozano, 2016.

5.11. ORTOIMÁGEN

Son imágenes en las cuales a nivel del terreno han sido removidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor, las condiciones de toma y el relieve del terreno. Están referidas a una proyección cartográfica, por lo que poseen las características geométricas de un mapa.

Las imágenes captadas por sensores remotos tanto de fotografías aéreas como de imágenes de satélite, registran la representación del terreno en el momento de la obtención, contienen información útil para las diversas áreas relacionadas con las ciencias de la tierra, son un elemento básico para generar modelos y productos para el conocimiento del territorio; constituyen uno de los insumos fundamentales para iniciar el proceso de elaboración de cartografía en general, para la evaluación de riesgos y mitigación de desastres, planeación y construcción de infraestructura, ordenamiento territorial, estudios ambientales, y una extensa variedad de aplicaciones para muchos temas relacionados con la disposición de información básica para el análisis del entorno geográfico. (INEGI, 2019)

Sin embargo, las fotografías aéreas y las imágenes de satélite no tienen de origen las características geométricas y de referencia geográfica en los trabajos cartográficos por lo que,

por medio de procesos fotogramétricos, son corregidas para cumplir con un conjunto de especificaciones hasta obtener, fotografías e imágenes georreferenciadas; corregidas geométrica y radiométricamente. (INEGI, 2019).

5.12. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la "Tierra desnuda". En un sistema LiDAR (Light Detection and Ranging), los pulsos de luz viajan al suelo. Cuando el pulso de luz rebota de su objetivo y regresa al sensor, da el rango a la Tierra. Por lo tanto, este sistema se ganó su nombre de LIDAR.

Al final, LiDAR entrega una enorme nube de puntos llena de diferentes valores de elevación. Pero la altura puede venir de la parte superior de los edificios, el dosel arbóreo, las líneas eléctricas y otras características. Un DSM captura y muestra las características naturales y construidas en la superficie de la Tierra. (FRANZPC, 2018).

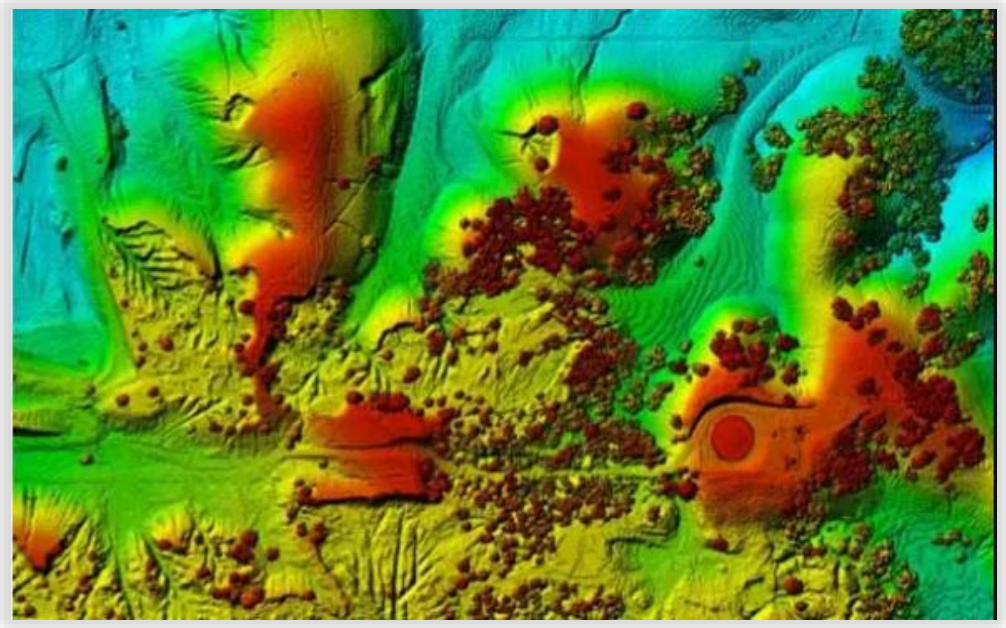


Ilustración 4. DSM vegetación presente en el suelo. Fuente: franzpc,2018.

5.13. MODELO DIGITAL DE TERENO

Un Modelo Digital de Terreno (DTM) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X,Y, Z almacenadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc. Un DTM es efectivamente un modelo digital de elevaciones que se ha incrementado con elementos tales como líneas de ruptura y observaciones que no son los datos originales para corregir los artefactos producidos utilizando sólo los datos originales.

Los DTM recrean la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno. (FRANZPC, 2018).

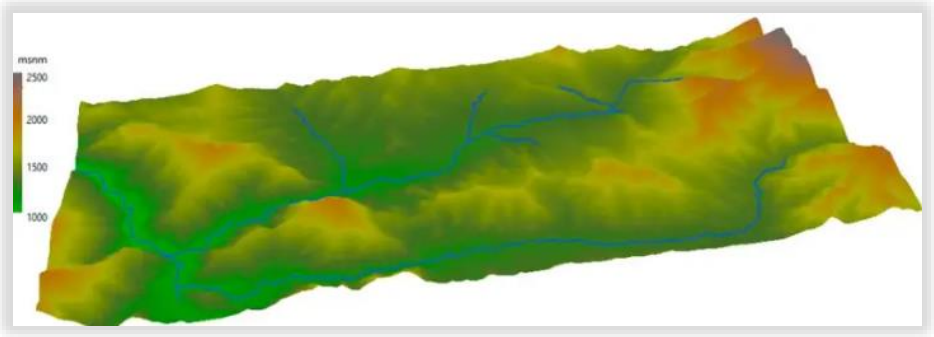


Ilustración 5. Modelo Digital de Terreno. Fuente: franzpc,2018.

5.14. GEODATABASE

En su nivel más básico, una geodatabase de ArcGIS es un conjunto de datasets geográficos de distintas clases que están almacenados en una carpeta común del sistema de archivos o en un sistema de administración de bases de datos relacionales (como Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM Informix o IBM Db2). Las geodatabases pueden tener muchos tamaños, poseer un número variado de usuarios y pueden pasar de ser bases de datos pequeñas de un sólo usuario creadas en archivos a ser bases de datos más grandes, de grupos de trabajo, departamentos y empresas a las que acceden muchos usuarios. (Esri, 2021)

5.15. PARQUE SOLAR

Es una extensión de tierra o acuática, provista de paneles solares interconectados, con el objeto de captar grandes cantidades de luz solar y transformarla en energía eléctrica. Un parque solar de cuatro hectáreas puede contar con unos cuatro mil paneles fotovoltaicos de 250 watts cada uno, provistos de soportes que permiten variar la inclinación de los paneles entre 15° y 45°, según la posición del sol y la estación del año, además de poseer varios inversores y un transformador. (INGENIERÍA, 2019)

6. METODOLOGÍA

El presente capítulo describe las metodologías y los procedimientos del levantamiento aero fotogramétrico realizado desde el día 13 hasta el 28 de febrero del 2023 en el área del proyecto definida en San Martín - El Paso, Cesar. Y los procedimientos ejecutados consecutivamente en oficina.

LABORES PREVIAS

- Planificación logística y técnica del levantamiento con base en la imagen satelital del área.
- Obtención de información sobre puntos de apoyo geodésicos existentes en el área del proyecto.
- Planeación de los trabajos topográficos y fotogramétricos.

LABORES REALIZADAS EN TERRENO

- Rastreo GNSS estático diferencial de los vértices topográficos ubicados en el área de trabajo, desde el cual se realiza el levantamiento de información topográfica y fotogramétrica.
- Levantamiento de información del terreno mediante equipos GNSS RTK doble frecuencia, partiendo de los vértices topográficos, compilando información del terreno en tres dimensiones, Norte, Este, Elevación (N, E, Z).
- Marcación y determinación de puntos de control terrestre (GCP) para corrección y ajuste de modelo fotogramétrico.
- Realización de vuelo fotogramétrico para obtención de aerofotografías con porcentajes de traslapes superiores al 70% para generación de ortofotomosaico y modelo digital de superficie.

LABORES POSTERIORES DE OFICINA

- Cálculos y ajuste de red para cuatro (4) vértices topográficos. Cálculos GNSS de coordenadas de detalles.
- Procesamiento fotogramétrico
- Edición de modelo digital de terreno (DTM)
- Elaboración de salidas gráficas e informe.

7. RESULTADOS

7.1.AMARRE DE COORDENADAS NACIONALES (MAGNA SIRGAS CTM-12)

Para el amarre a coordenadas nacionales se utilizó el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), específicamente las constelaciones de satélites NAVSTAR (EUA) (GPS), la constelación Glonass (Federación Rusa), Galileo (UE) y BeiDou (China); mediante este sistema y por medio de levantamiento estático diferencial usando equipos doble frecuencia se determinaron las coordenadas precisas de un vértice topográfico ubicado en el área de trabajo y a partir de los cuales se iniciaron los trabajos topográficos y fotogramétricos.

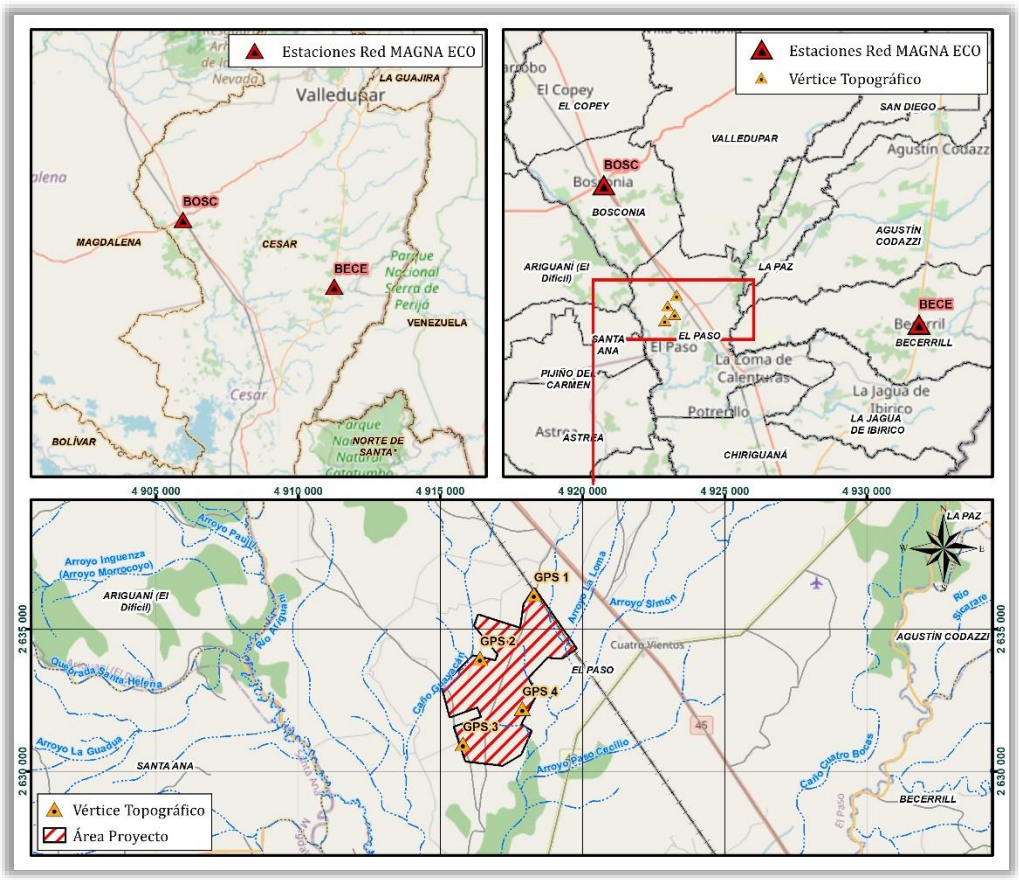


Figura 1. Amarre de coordenadas Magna Sirgas CTM 12

Los vértices topográficos denominados ***GPS1, GPS2, GPS3*** y ***GPS4*** tuvieron un tiempo de rastreo de 7 h 16 min, 5h 16 min, 3 h 54 min y 6 h 6 min respectivamente, conforme al tiempo mínimo de rastreo exigido por el IGAC. Como puntos de control horizontal y vertical se utilizaron dos (2) estaciones de rastreo permanente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y del Servicio Geológico Colombiano (SGC) más cercanas y en funcionamiento, denominadas ***BOSC*** y ***BECE***, las cuales están localizadas respectivamente en Bosconia y Becerril, ambas pertenecientes a la red geodésica activa de Colombia, MAGNA ECO.



Ilustración 6. Posicionamiento GNSS estático

El levantamiento GNSS estático diferencial fue realizado con base en los siguientes parámetros técnicos:

- Ángulo mínimo de recepción: 15 grados sobre el horizonte.
- Componente geométrico de la dilución de precisión PDOP <3
- Mínimo de satélites visibles a asegurar: 6
- No inclusión de satélites descompuestos
- Recolección de datos para tres dimensiones
- Intervalo de grabación de épocas: 1 segundo
- Tiempo de ocupación mínimo por punto: 3 horas

7.2. CÁLCULO Y AJUSTE GNSS (POST-PROCESO)

Una vez realizado el rastreo GNSS de los vértices topográficos (GPS1, GPS2, GPS3 Y GPS4) y con base en las estaciones permanentes BOSC y BECE utilizándolos como punto de control horizontal y vertical se realizó el postproceso y el ajuste de los vectores resultantes, obteniendo de esta manera las coordenadas precisas para el vértice base del proyecto.

Lo anterior fue realizado mediante la herramienta de software CHCMAV Donde se realizaron los cálculos y se generaron los reportes con las coordenadas resultantes.

Las coordenadas geocéntricas del punto de control "BOSC" y “BECE” se obtuvieron del ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/2238/, utilizando la última solución disponible a la fecha (18 de enero de 2023) correspondiente a la semana GPS 2238.

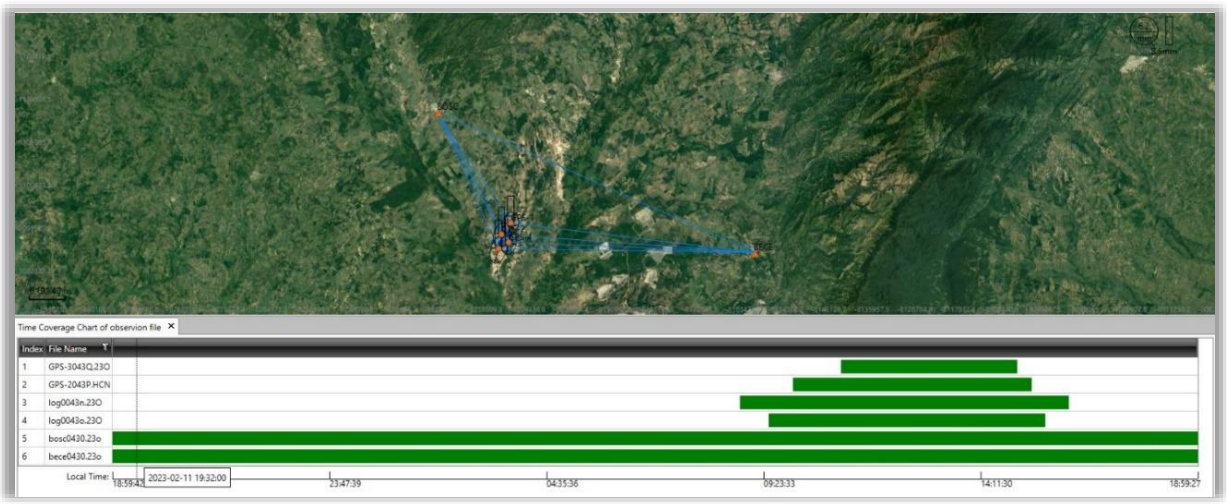


Ilustración 7. Triangulación GNSS vértice proyecto. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022.

Producto de este procedimiento se obtuvieron las coordenadas de los vértices denominados GPS1, GPS2, GPS3 Y GPS4 con una desviación estándar horizontal de 4 mm, de lo que se puede concluir que el amarre fue satisfactorio para los requerimientos del proyecto. (Ver Anexo 3. Reporte Post-Proceso GNSS y Ajuste)

Para el cálculo de las alturas ortométricas de cada uno de los vértices fue utilizado el modelo geoidal EGM2008, como se indica en el reporte de post-proceso, sin embargo, las cotas fueron re calculadas con base en la “GUIA METODOLOGICA PARA LA OBTENCION DE ALTURAS UTILIZANDO EL SISTEMA GPS” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, mediante el empleo del software Magna Sirgas 5.0 (Geocol 2004), y utilizando los vértices con altura nivelada de precisión (NP) ***49-CS-1*** y ***53-CS-1***.

Tabla 1. Coordenadas geocéntricas y geográficas vértices base del proyecto - Época 2022,16 y 2022,19. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022

COORDENADAS ÉPOCA 2023.12									
Punto	Coordenadas Geocéntricas			Coordenadas Geográficas			Velocidades Vemos 2017		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	WGS84 Latitud	WGS84 Longitud	WGS84 Ell. Altura (m)	Vel.- X (mm/y)	Vel.- Y (mm/y)	Vel.- Z (mm/y)
BOSC	1743705.75041	-6035764.39448	1096656.86953	09°58'00.81320"N	073°53'10.41754"W	85.562	0.0094	0.0050	0.0127
BECE	1808996.10513	-6021778.24848	1067805.00835	09°42'07.56064"N	073°16'45.34156"W	120.756	0.0086	0.0050	0.0134
GPS 1	1759650.07253	-6035233.67875	1073752.12254	09°45'24.40620"N	073°44'42.99406"W	38.897	0.009	0.005	0.013
GPS 2	1757945.77197	-6036128.22743	1071528.11146	09°44'10.95952"N	073°45'44.88968"W	38.904	0.009	0.005	0.013
GPS 3	1757512.27850	-6036781.97010	1068562.47694	09°42'33.03717"N	073°46'04.54050"W	37.270	0.009	0.0049	0.013
GPS 4	1759461.11527	-6035994.89402	1069794.46957	09°43'13.71745"N	073°44'55.93561"W	37.584	0.009	0.005	0.013

Posteriormente se realizó la migración de las coordenadas a la época de referencia oficial, según la Resolución 715 del 2018, la cual exige que se deben migrar las coordenadas obtenidas a la época a la cual está referida la información cartográfica oficial de Colombia (época 2018.0).

Tabla 2. Coordenadas geocéntricas y geográficas vértices base del proyecto - Época 2018.0. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022.

COORDENADAS ÉPOCA 2018.00						
Punto	Coordenadas Geográficas			Coordenadas Planas Gauss Krüger Origen Central		
	WGS84 Latitud	WGS84 Longitud	WGS84 Ell. Altura (m)	Grid Norte (m)	Grid Este (m)	Elevación (m) GEOCOL 2004
BOSC	9°58'0.81106"N	73°53'10.41929"W	85.562	1593966.425	1020974.011	87.422
BECE	9°42'7.55837"N	73°16'45.34318"W	120.75	1564775.399	1087600.405	120.856
GPS 1	9°45'24.404"N	73°44'42.99574"W	38.897	1570738.329	1036452.586	40.657
GPS 2	9°44'10.95733"N	73°45'44.89136"W	38.905	1568479.921	1034568.219	40.814
GPS 3	9°42'33.03497"N	73°46'4.54218"W	37.27	1565470.773	1033972.006	39.34
GPS 4	9°43'13.71525"N	73°44'55.93729"W	37.584	1566722.612	1036062.046	39.464

Se realizó la conversión de coordenadas a las proyecciones de planas de Gauss Magna Sirgas Origen Central a Origen Único Nacional CTM12, de acuerdo con resolución 471-Articulo 2 del 2020.

Tabla 3. Coordenadas GPS proyección Magna Sirgas Origen Nacional. Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2022.

Coordenadas Planas Origen Nacional, CTM-12 ÉPOCA 2018.0			
Punto	**Norte (m)**	**Este (m)**	**Cota (Geocol 2004)**
GPS 1	2636229.314	4918291.546	42.201
GPS 2	2633978.563	4916401.381	42.295
GPS 3	2630973.512	4915796.054	40.746
GPS 4	2632217.803	4917888.529	40.946

7.3.LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO-RTK



Ilustración 8. Levantamiento detalles GNSS RTK Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023

Desde el 13 hasta el 28 de Febrero de del presente año se realizó la captura de información de elementos determinantes para el modelo digital de terreno (DTM) como son cercas, vías férreas, construcciones, canales, entre otros, mediante equipos GNSS RTK doble frecuencia, a partir de los vértices topográficos (GPS1, GPS2, GPS3 Y GPS4) compilando un total 4.589 puntos, incluidos treinta y seis (36) puntos de control terrestre distribuidos en el área de trabajo (GCP).

Para garantizar la correcta combinación entre la información obtenida de forma directa, y la fotogrametría se realizó un control terrestre amarrado a la red del proyecto. Para esto se dispusieron marcas sobre el terreno y se escogieron objetos foto identificables distribuidos de forma estratégica en el área del proyecto; estos puntos (GCP) fueron medidos de forma directa (RTK) para obtener sus coordenadas XY de alta precisión.

A continuación, se presenta el resumen de coordenadas MAGNA-SIRGAS Origen Nacional obtenidas para los puntos de control terrestre (GCP).

Tabla 4. Coordenadas puntos de control terrestre (GCP)

Fuente CIGMAP S.A.S. - 2022

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA
GPS 1	2636229.311	4918291.545	42.197179
GPS 2	2633978.57	4916401.387	42.286986
GPS 3	2630973.518	4915796.054	40.750929
GPS 4	2632217.829	4917888.538	40.945201
GCP-01	2632817.935	4915188.545	40.250381
GCP-02	2632075.5	4915414.291	41.446695
GCP-03	2631518.467	4915646.331	41.118623
GCP-04	2630513.003	4915960.435	40.105369
GCP-05	2631861.463	4916665.225	41.005848
GCP-06	2636114.079	4918311.924	41.791947
GCP-7	2634303.918	4919687.442	42.755703
GCP-08	2634952.194	4917916.454	43.664986
GCP-9	2634140.092	4918663.128	42.429739
GCP-10B	2635415.092	4916396.296	43.062103
GCP-11	2635121.41	4916258.206	42.697515
GCP-12	2634688.647	4916603.646	42.880263
GCP-13	2635173.533	4917080.34	43.903645
GCP-14	2633166.553	4917780.091	42.42545
GCP-15	2633574.728	4918174.377	42.532038
GCP-16	2631967.938	4917170.353	40.982158
GCP-17	2631542.032	4917885.113	38.249946
GCP-18	2632843.085	4917007.345	42.314606
GCP-19	2633875.058	4916325.169	41.845705
GCP-20	2635496.049	4918866.839	44.190463
GCP-21	2634051.264	4919198.997	41.87789
GCP-22	2633729.362	4917197.865	42.99285
GCP-23	2632743.478	4918236.677	40.543194
GCP-24	2631845.749	4917730.728	40.107025
GCP-25	2630602.312	4917264.686	37.624507
GCP-26	2633120.017	4916066.681	41.630519
GCP-27	2632440.26	4917222.391	41.814187
GCP-28	2635549.074	4917957.286	42.839367
GCP-29	2634916.171	4918330.32	42.170243
GCP-29A	2634673.486	4918631.754	41.746533
GCP-30	2634571.943	4917695.988	43.588922
GCP-31	2631003.582	4916706.892	39.840845

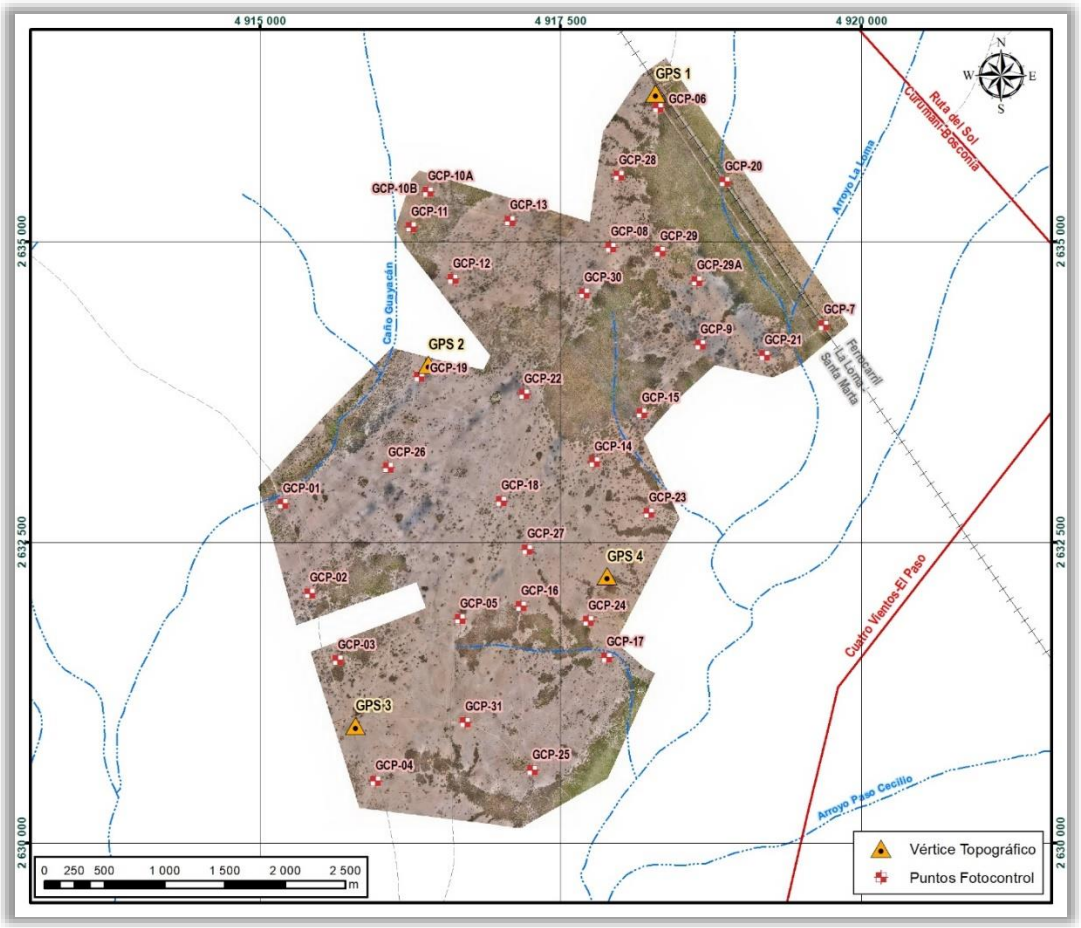


Figura 2. Ubicación de puntos de control terrestre (GCP)
Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

7.4. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

En el presente capítulo se describen: la metodología, los procedimientos y los resultados del componente fotogramétrico para la obtención de la información del área de estudio.

7.4.1. DISEÑO PRELIMINAR DEL VUELO

Conforme al área indicada y con base a la información suministrada se realizó el diseño preliminar de cinco (5) vuelos mediante el software eMotion, donde a partir de datos iniciales como la resolución esperada (GSD), geometría del área a cartografiar, modelo digital de terreno y coordenadas del lugar de despegue, se realizó el proceso de simulación que permitió estimar los parámetros necesarios para el diseño geométrico del vuelo fotogramétrico.

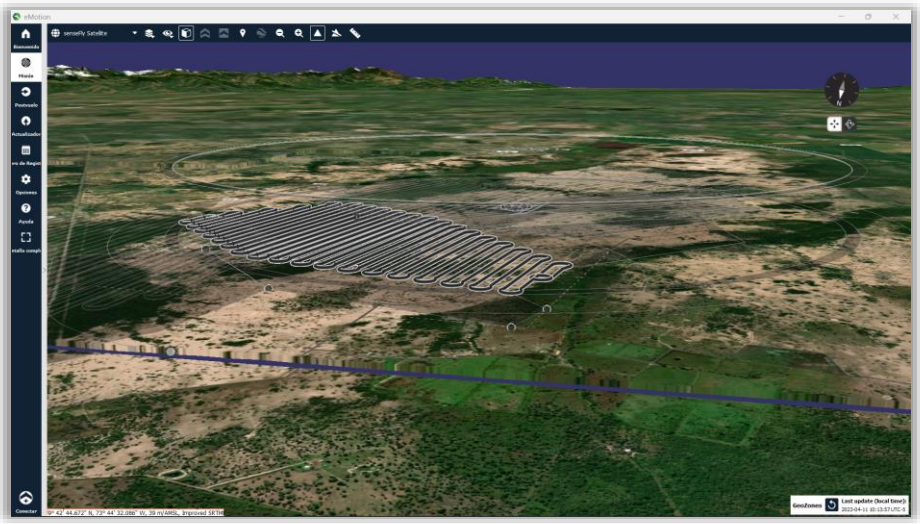


Ilustración 9. Plan de vuelos área del proyecto Fuente: CIGMAP S.A.S 2023

Para las 1407.12 ha que comprende el área definida, se planificó y diseñó para una resolución final de 5 cm, con el fin de garantizar la resolución final se manejaron GSD no superiores a 4 centímetros y según la capacidad de la batería de la aeronave a utilizar, altura de vuelo de 220m y traslapes del 70%

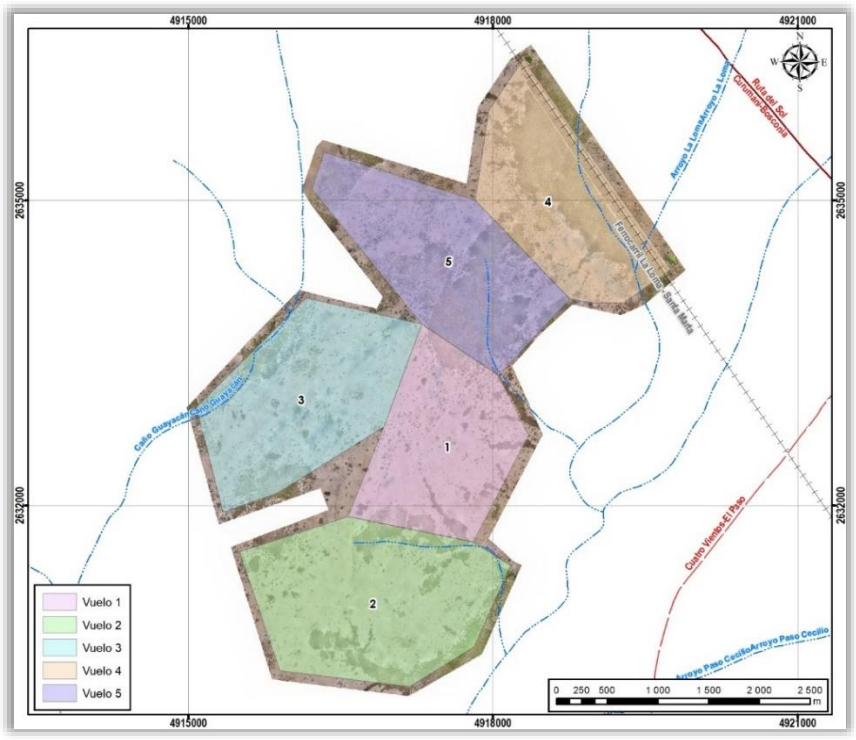


Figura 3. Vuelos área del proyecto
Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

7.4.2. ADQUISICIÓN DE AEROFOTOGRAFIAS CON TECNOLOGÍA UAV

La fotografía aérea, se ha realizado habitualmente desde aviones tripulados con costos, requerimientos técnicos y logísticos muy elevados, aunque es imprescindible todavía para determinados trabajos debido a las alturas de vuelo y superficies a medir (a nivel departamental o de provincias), han venido evolucionando nuevas técnicas cartográficas a la par de los desarrollos en la aviónica y electrónica que han permitido la aplicación civil de los UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) o vehículos aéreos no tripulados con fines cartográficos.



Ilustración 10. Vuelo fotogramétrico

Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023

Esta tecnología desarrollada inicialmente por el gobierno de Estados Unidos con fines militares ha proporcionado a la ciencia de la percepción remota o teledetección una

inestimable herramienta, que junto con los desarrollos de software fotogramétricos específicos, permite obtener precisiones altas y buenos resultados a la hora de cartografiar áreas.

El levantamiento fotogramétrico se llevó a cabo en dos campañas, dadas los días 15 de febrero y 02 de marzo del 2023, realizando en total cinco (5) vuelos con un Drone eBee X RTK-PPK, según los planes de vuelo, y monitoreando en tiempo real toda la información de telemetría de vuelo, estado de la aeronave, el posicionamiento adecuado de la estación base para la recopilación de datos exitosa con PPK, obteniendo de esta manera un total de 3.823 aerofotografías para el área de estudio.



Ilustración 11. Fotografías aéreas del proyecto Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023

La captura de información con la metodología PPK se realizó mediante la conexión de la aeronave “eBee X” con una base GNSS que permitió que durante la ejecución de los vuelos se obtuviera una corrección de la posición de cada centro de foto ajustada a las coordenadas de la red de amarre del proyecto. Una vez finalizados los vuelos y verificada la información capturada correspondiente a las imágenes y archivos PPK del **eBee X** se procedió al post-procesamiento de dicha información en oficina para ello se realizó en primera instancia la corrección del geoetiquetado, incorporando en el software EMotion los archivos Rinex de la base y la configuración de esta (altura, coordenadas, tipo de antena) obteniendo así fotografías con un alto grado precisión.

7.4.3. PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

Para el procesamiento de las 3.823 fotografías se empleó el software Agisoft Metashape Profesional V1.5.2, desde el cual se generaron los siguientes productos:

- Nube densa de puntos
- Modelo digital de superficie (DSM)
- Ortomosaico georreferenciado

7.4.4. ORIENTACIÓN INICIAL

Una vez corregido el geoetiquetado de las fotografías (con sus parámetros asociados que aparecen en la telemetría descargada) se procedió a la orientación inicial de las aerofotografías, se realizó el ensamble de pares estereoscópicos (pares de fotos adyacentes).

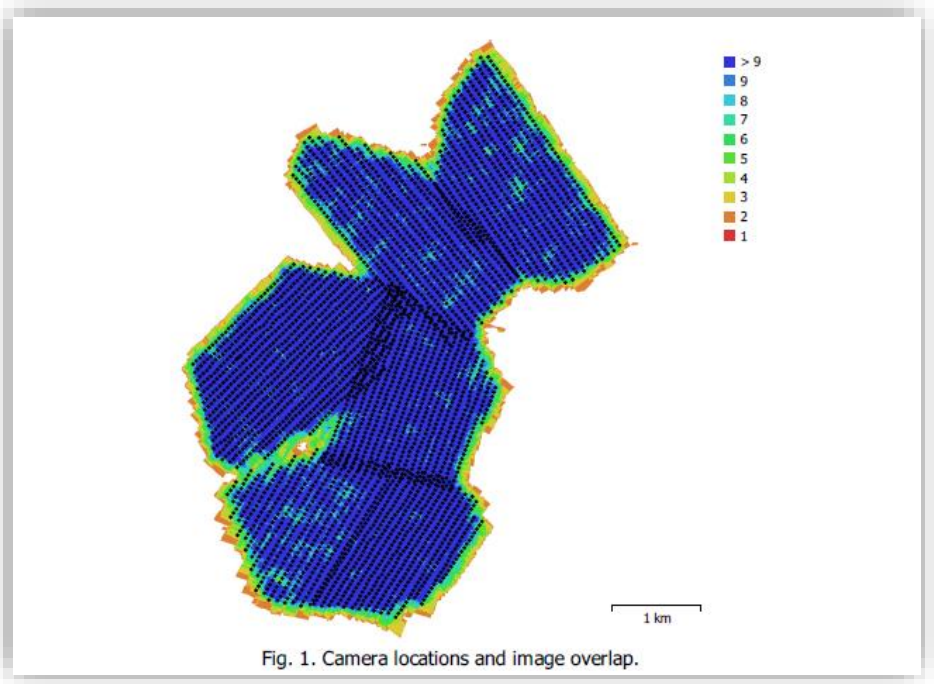


Figura 4. Centros de foto y traslapes

Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

La Figura 5 representa el nivel de traslape o paralaje necesaria para la correcta determinación del modelo digital de superficie donde el color azul (área cubierta con más de 9 fotografías) muestra los valores óptimos de traslape hasta los colores rojos donde el traslape es insuficiente. El vuelo se planificó con la premisa de garantizar que el área de estudio (1823.47 ha) esté con el traslape optimo (zonas superiores a 6 fotografías de cubrimiento).

7.4.5. FOTOCONTROL

Utilizando el software de procesamiento Agisoft Metashape Profesional V1.8.5, se identificaron los puntos de control terrestre (GCP) en las imágenes y se ingresaron sus respectivas coordenadas para ajustar el modelo fotogramétrico obtenido en la fase de orientación inicial. A este proceso de cálculo se le denomina aero-triangulación, y es un modelo matemático basado en ecuaciones de colinealidad que incorpora gran cantidad de redundancias al modelo fotogramétrico para poder dar robustez al sistema y obtener así unos resultados con alta fiabilidad.

A continuación, se presenta el resumen de errores obtenidos en la fase de aerotringulación para cada uno de los puntos de control terrestre (GCP).

Tabla 5. Reporte RMS proceso de aero-triangulación de puntos de control terrestre
Fuente CIGMAP S.A.S. - 2023

PUNTO	X error(cm)	Y error(cm)	Z error(cm)	Total(cm)	Image(pix)
GPS 1	-0.114502	-0.26605	-0.38215	0.479512	0.533(9)
GPS 2	0.559259	0.688842	-0.801408	1.19563	1.059(11)
GPS 3	-0.0539378	0.614698	0.492921	0.789769	0.878(10)
GPS 4	0.89918	2.55545	-0.0799361	2.71021	1.207(13)
GCP-01	0.079639	0.180124	0.508104	0.544937	0.646(13)
GCP-02	0.144906	0.775284	-0.280455	0.837089	0.513(12)
GCP-03	-0.139577	1.17684	0.0822656	1.18794	0.748(10)
GCP-04	0.385422	-0.265184	-0.693055	0.836181	1.22(8)
GCP-05	-0.3491	-2.88279	-0.125158	2.90655	0.805(20)
GCP-06	-0.0123522	0.310225	0.534726	0.618324	0.628(11)
GCP-7	0.196813	0.0668855	0.0802941	0.222837	0.302(8)
GCP-08	-0.138043	0.2032	0.29862	0.386678	0.482(14)
GCP-9	-0.726768	0.501467	0.0338764	0.883633	0.571(13)
GCP-10B	-0.0714783	-0.221649	-0.229683	0.327096	0.4(10)
GCP-11	0.0167012	-0.0828633	-0.0285106	0.0892083	0.482(8)
GCP-12	0.460391	0.264389	0.116323	0.5435	0.52(11)
GCP-13	0.646406	-0.129948	0.0444619	0.660836	0.534(11)
GCP-14	-0.61938	-1.7623	0.155026	1.8744	0.946(10)
GCP-15	-0.370833	-1.37165	0.00384848	1.4209	0.721(12)
GCP-16	0.345668	-2.58518	-0.214178	2.61697	1.111(14)
GCP-17	0.736159	-1.14373	0.734591	1.54586	0.699(18)
GCP-18	-0.928889	2.64385	0.160603	2.80688	0.867(21)
GCP-19	-0.74157	-0.225153	0.560534	0.956461	0.672(14)
GCP-20	0.159519	0.0801383	0.116344	0.213083	0.423(13)
GCP-21	-0.377202	-0.285592	-0.330966	0.577393	0.492(11)
GCP-22	-1.47494	0.613465	-0.155007	1.60493	0.682(26)
GCP-23	0.397425	-1.57926	0.54937	1.71866	0.927(12)
GCP-24	0.276408	-0.864052	-0.457516	1.01603	0.714(14)
GCP-25	0.918938	1.36395	-0.569336	1.74039	1.082(11)
GCP-26	-0.202743	0.823644	0.331913	0.910857	0.671(12)
GCP-27	0.0377617	-1.53772	-0.131326	1.54378	0.947(10)
GCP-28	1.2709	0.331773	-0.0232723	1.3137	0.941(8)
GCP-29	0.0341993	0.48608	-0.155675	0.511545	0.491(12)
GCP-29A	-0.195373	1.11932	0.303329	1.17603	0.791(13)
GCP-30	-1.4334	-1.07448	-0.957845	2.03141	1.16(12)
GCP-31	0.384228	1.47663	0.514498	1.61021	1.004(9)
Total	**0.591432**	**1.20128**	**0.397467**	**1.39673**	**0.7820**

El proceso de georreferenciación mediante los puntos de foto control y la generación de la nube de puntos densa arrojó un error en X de 0.00591 m, en Y 0.012 m y en Z de 0.00397 m; para un error medio total de cierre horizontal del modelo fotogramétrico de 0.01396 m, el cual no supera el tamaño del píxel de la ortofoto generada.

7.4.6. NUBE DE PUNTOS DENSA

Una vez ajustado el modelo a la máxima precisión posible, se generó una nube de puntos densa (similar a una nube generada por equipos LIDAR) que no es más que un verdadero modelo 3D del terreno, que sirve de base para la generación de los productos cartográficos del estudio.

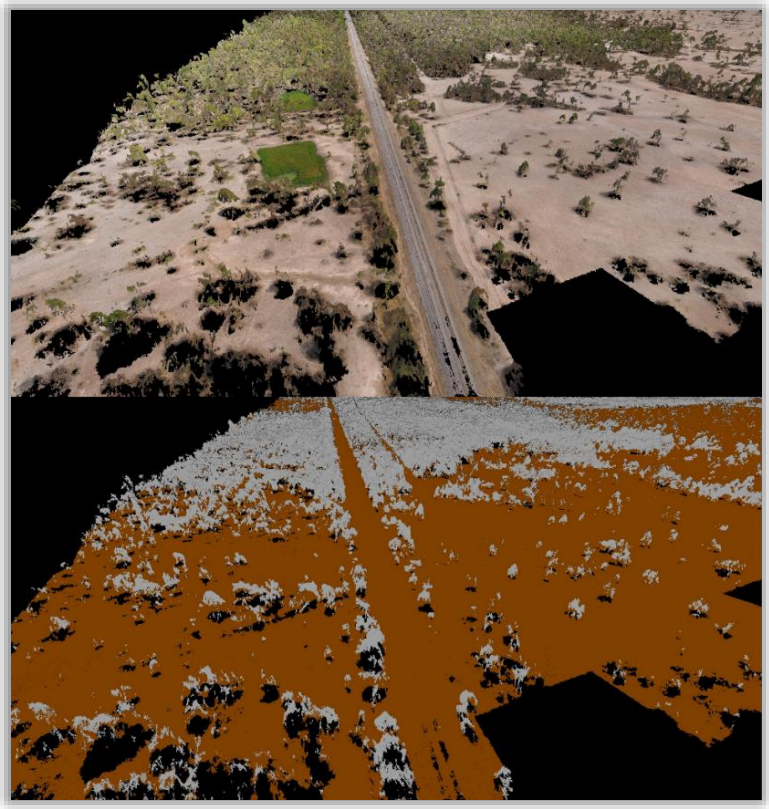


Figura 5. Clasificación nube de puntos densa
Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

Esta nube densa resultante del levantamiento fotogramétrico (.las) contiene información de altura y color (RGB), la cual fue clasificada con procesos automáticos y supervisados a partir de herramientas del software (Agisoft Metashape) y Global Mapper.

Tabla 6. Distribución de la clasificación de la nube de puntos densa

Fuente CIGMAP S.A.S. – 2023

Clasificación Inicial Puntos		
Clase	**No de Puntos**	**%**
Terreno	961 767 133	99.97%
Otros	310 063	0.03%
Total	**962 077 196**	**100%**

Total, puntos de terreno clasificación supervisada: 962 077 196

7.4.7. MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM)

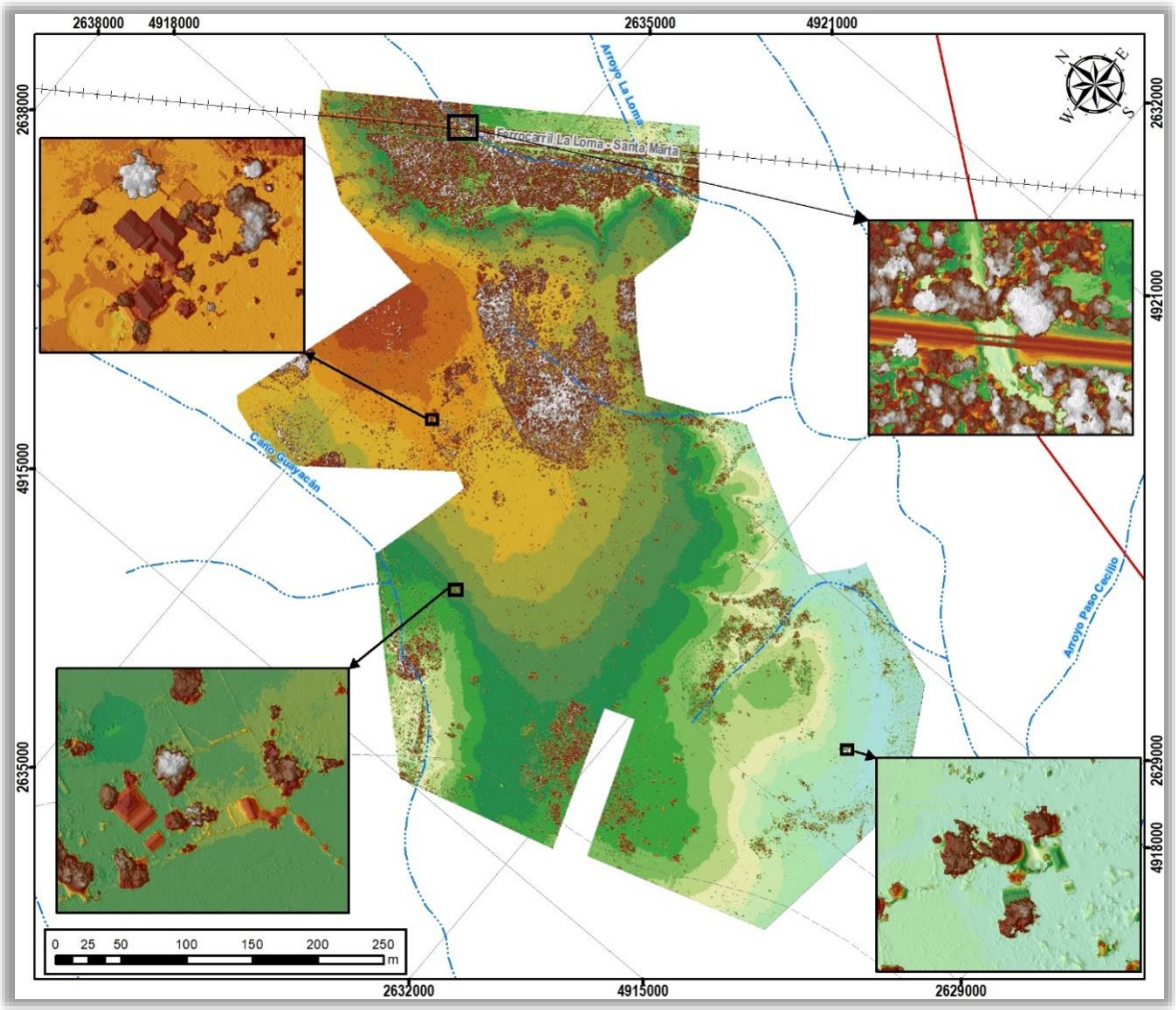


Figura 6. Modelo digital de superficie
Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

A partir de la nube de puntos densa se generó una superficie tridimensional continua del modelo, en este proceso se conectan los pixeles tridimensionales discretos en la nube densa lo que da como resultado una superficie de malla tridimensional, con esta malla se procedió a generar el modelo digital de superficie que representa las elevaciones del suelo, estructuras como construcciones y árboles, la resolución del DSM (Modelo digital de superficie) es de 0.1 m

7.4.8. ORTOIMAGEN

Con base en el modelo 3D se obtuvo el ortofotomosaico, con una resolución espacial igual a cinco (5) centímetros conforme a lo planeado logrando una cobertura del 100% de las áreas de interés.

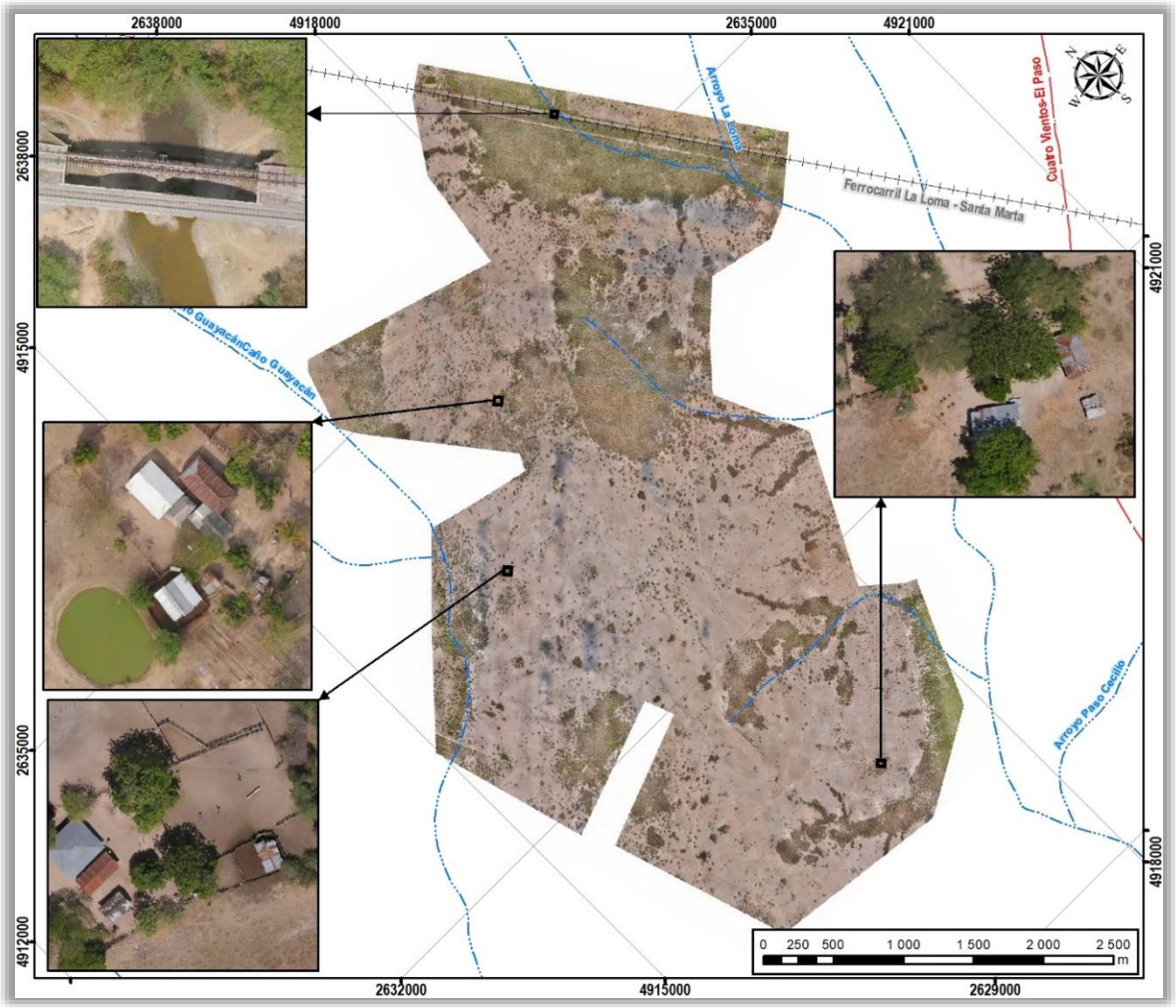


Figura 7. Ortofotomosaico con resolución 5cm

Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

En lenguaje no muy riguroso, pero gráfico, se definió una orto imagen como una fotografía sobre la cual se pueden realizar mediciones, debido a que le han sido corregidas las deformaciones generadas por el relieve, la falta de verticalidad de la fotografía y los movimientos de la aeronave.

7.4.9. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM)

El modelo digital de terreno se construyó a partir de la integración de la nube de puntos densa resultante del levantamiento fotogramétrico (.las) con: 962’077.196 de puntos y los puntos levantados directamente sobre el terreno en la fase de campo. El proceso de edición de este modelo se efectuó utilizando los softwares especializados Global Mapper y Autodesk Civil 3D.

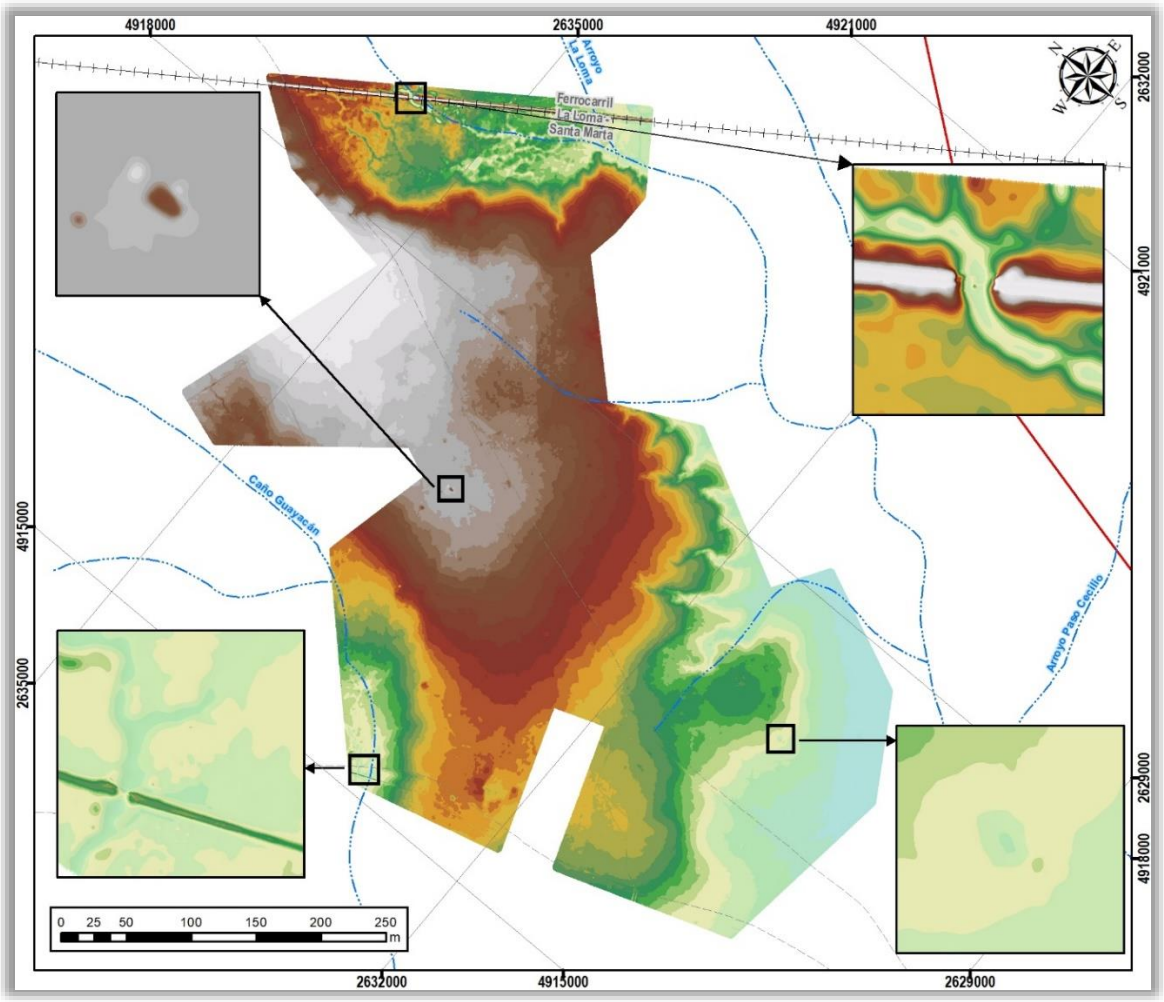


Figura 8. Modelo digital de terreno

Fuente: CIGMAP S.A.S. -2023

Una vez finalizada la fase de edición se generó un modelo digital de terreno (DTM) con una resolución espacial de 0.5 m, obteniendo un producto de alta resolución. *(Ver Anexo 5. DTM)*

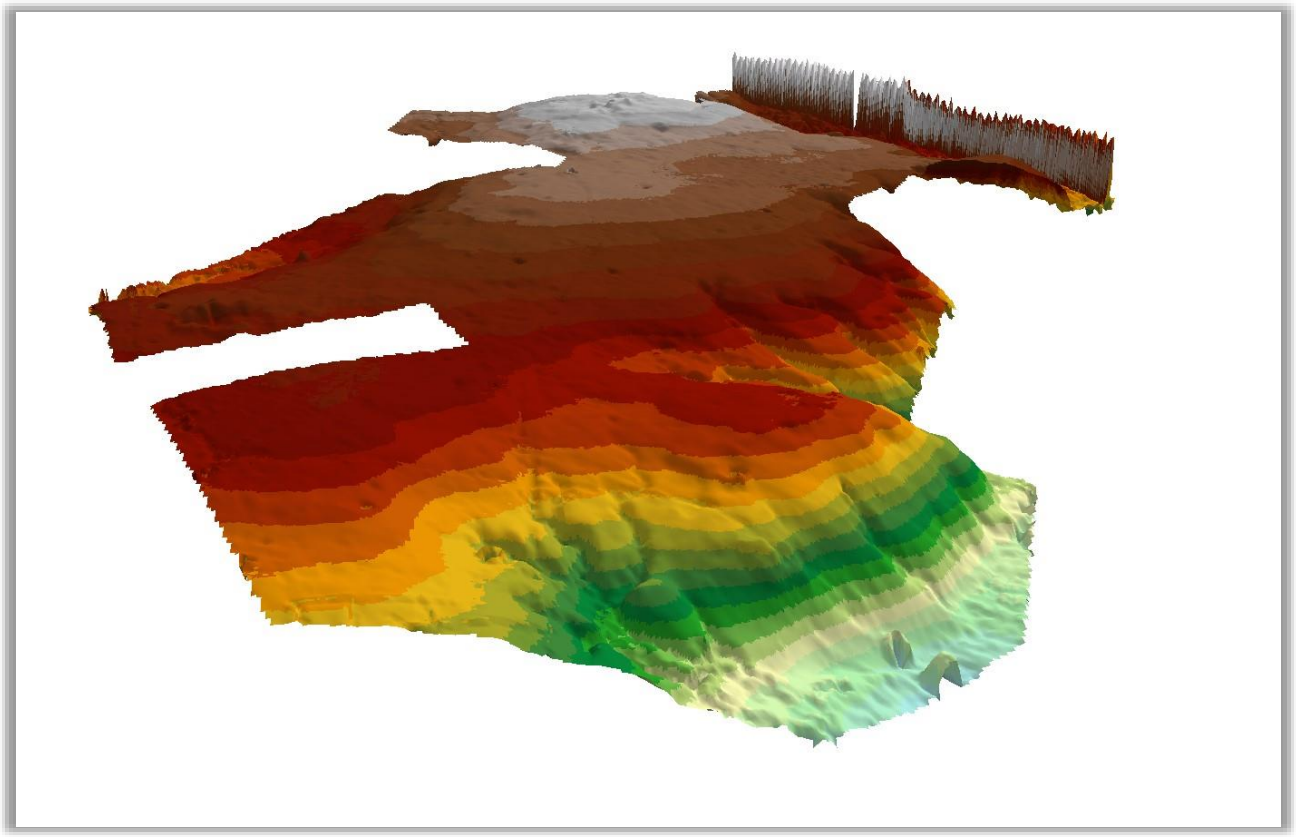


Figura 9. Modelo digital de terreno vista en perspectiva.
Fuente: CIGMAP S.A.S. 2023

7.5. BASE CARTOGRÁFICA

La cartografía base se generó utilizando el modelo de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. La captura de la información se realizó sobre el Ortofotomosaico, teniendo en cuenta que la resolución espacial de la imagen base es de 1.0 m se capturaron los elementos a escala 1:500. Esta escala permite la aplicación en proyectos de ingeniería detallada. También se utilizó la información recolectada en campo en la fase RTK.

Tabla 7. Elementos capturados cartografía base Fuente: CIGMAP S.A.S - 2023

CAPTURA CARTOGRAFÍA BASE	
DATASET	**CAPA**
Puntos_de_Control	Punto Aero triangulación
	Punto geodésico
Edificación_ObraCivil	Cerca
	Construcción
Instalaciones_Construcciones_Para_Transporte	Torre
	Red Alta tensión
	LineaTransmision_L
	Poste
Transporte_Terrestre	Vía Férrea
Superficie_Agua	Otros cuerpos de agua
	Drenaje_Sencillo
	Drenaje_Doble
Cobertura_Vegetal	Árbol
	Bosque
Relieve	Curvas de Nivel

A partir de esta imagen se capturaron elementos como vías férreas, zonas de bosque, construcciones, otros cuerpos de agua para la capa de superficies de agua, entre otros. Del modelo digital generado se extrajo la información de relieve (curvas de nivel) garantizando así la interrelación entre todos los productos generados en este proyecto.

De esta manera se creó la cartografía base para el área del proyecto en una escala de 1:500, almacenada en una base de datos geográfica y en un dwg con el sistema de referencia MAGNA SIRGAS y utilizando como sistema proyección las coordenadas Planas Origen Único Nacional.

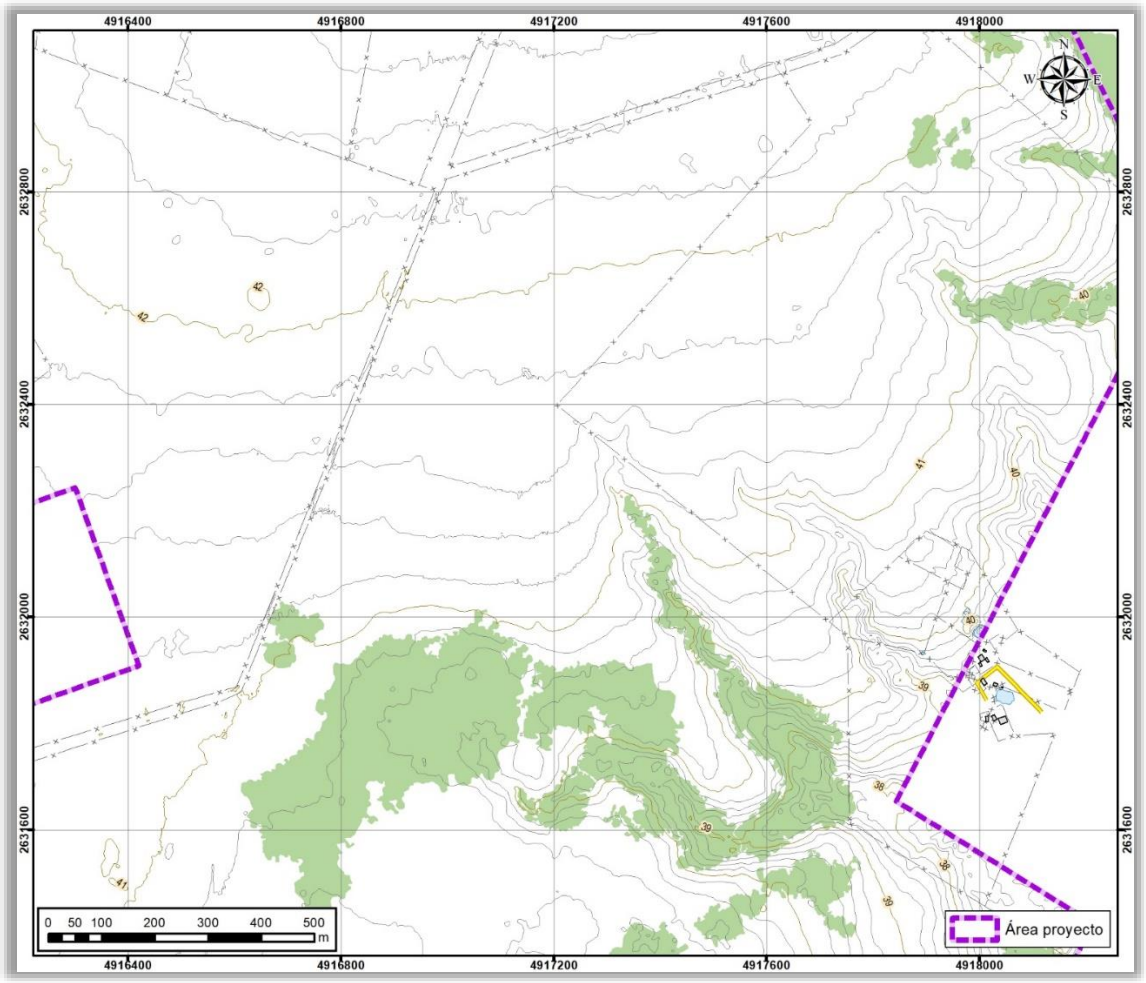


Figura 10. Cartografía base

Fuente: CIGMAP S.A.S. - 2023

8. EQUIPOS UTILIZADOS

A continuación, se relacionan los equipos utilizados en campo para la realización del levantamiento de información cartográfica.

8.1.RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV REFERENCIA IBASE

Tabla 8. Sistema GPS CHCNAV iBase

SISTEMA GPS CHCNAV iBASE	
Rendimiento del GNSS	
Canales	624 canales
GPS	L1, L2, L5
GLONASS	L1, L2
Galileo	E1, E5a, E5b
BeiDou	B1, B2, B3
SBAS	L1
QZSS	L1, L2, L5
Precisiones del GNSS	
RMS cinemática(RTK)	Horizontal : 8 mm + 1 ppm RMS
	Vertical en tiempo real :15mm+1ppm RMS
	Tiempo de inicialización :<10 s
	Fiabilidad de la inicialización : >99.9%
Post – procesamiento cinemática (PPK)	Horizontal: 3mm+ 1ppmRMS
	Vertical: 5 mm + 1 ppm RMS
Post – procesamiento estático	Horizontal: 2.5 mm + 0.5 ppm RMS
	Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
Código diferencial	Horizontal:0.4m RMS
	Vertical:0.8m RMS
Autonomía	Horizontal:1m RMS
	Vertical:1.5m RMS
Tasa de posicionamiento	Hasta 10 Hz
Hora de fijar primero el	Arranque en frío :<45s
	Arranque en caliente : <30s
	Reaparición de la señal : < 2 s



8.2.RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV REFERENCIA I50

Tabla 9. Sistema GPS CHCN AVI60

SISTEMA GPS CHCNAV i50	
COMPONENTE	***DETALLE***
Caracteristicas GNSS	
432 Canales para rastrear todas las señales satelitales	GPS L1, L2, L2C, L5 L1
	GLONASS B2,B3,L1 L1, L2, L5
	QZSS L2 E1, E5a, E5b B1
Precisión del Levantamiento	
Posicionamiento diferencial SBAS	0.5 m RMS
Estático, Estático Rápido	Horizontal: 3 mm + 0.5 ppm RMS
	Vertical: 5 mm + 0.5 ppm RMS
Cinemático Pos-Proceso (PPK)	Horizontal: 3 mm + 1 ppm RMS
	Vertical: 5 mm + 1 ppm RMS
RTK	Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS
	Vertical: 15 mm + 1 ppm RMS
	Tiempo de inicialización < 10 s
	Confiabilidad > 99.9 %
Equipo	
Dimensiones (WxH)	14 cm x 10.6 cm
Peso	1.29 kg
Ambientales	Operación: -40 cº a + 65 cº
	Almacenamiento: -40 cº a + 75cº
Humedad	95%
Protección IP	IP67, protegido a inmersión temporal a profundidad de 1 m (flota)
Golpe y vibración	2 m de caida a concreto, MIL-STD-810G
Sensor de inclinación	nivelación Ebubble
Comunicación y almacenamiento de datos	
Módem de red	Integrada 4G módem LTE(FDD): B1, B2, B3, B4, B5, B7, B8, B20 DC-HSPA + / HSPA+/HSPA/UMTSB1, B2, B5, B8 EDGE/ GPRS/ GSM 850/900/1800/1900 MHz
Wifi	802,11 b / g / n, punto de acceso v4.1 modo
Bluetooth	SI
Almacenamiento de datos	8 GB de memoria interna



8.3.RECEPTOR GNSS MARCA CHCNAV SERIE i73

Tabla 10. Sistema GPS CHCNAV I73

GPS CHCNAV i73	
Señales de satélite GNSS	
Número de canales	900 canales
GPS	LI C / A, L1P, L2C, L2P, L5
GLONASS	L1 C / A, L2 C / A, L3 CDMA E1
Galileo	E1, E5a, E5b, E5AltBOC, E6
BeiDou	BI, B2, B3, B1C, B2a, B2b, CEBOC (BDS Fase III)
SBAS	L1 C / A, L5
QZSS	LIC / A, L1 SAIF L2C, L5, LEX
IRNSS	
L-BAND	Opcional
Precisión GNSS	
Medición dinámica en tiempo real (RTK)	Tierra: 8 mm + 0,5 ppm RMS
	Altitud: 15 mm + 0,5 ppm RMS
	Tiempo de inicio de la medición: <10 s
	Nivel de confianza:> 99,9%
Medición dinámica de posprocesamiento (PPK)	Tierra: 2,5 mm + 1 ppm RMS
	Altitud: 5 mm + 1 ppm RMS
Medida estática	Tierra: 2,5 mm + 0,1 ppm RMS
Medir DGPS	Disposición del sitio: 0,25 m RMS
Medición de un solo punto	
	Altitud: 1,5 m RMS
Velocidad de la señal	Hasta 50 Hz
Tiempo fijo	Inicio de posicionamiento inicio <45 s
	Tiempo de reinicio fijo <10 s
	Recibió inicialmente una señal <1 s
compensación de inclinación	La compensación de la barra inclinada es inferior a 10 mm + 0,7 mm / o



8.4.UAV MARCA eBee X

Tabla 11. Especificaciones UAV eBee X

eBee X	
ESPECIFICACIONES	
COMPONENTE	***DETALLE***
HARDWARE	
Peso(con camara y bateria)	1,1 kg – 1,4 kg
Envergadura	116 cm
Material	Polipropileno expandido (EPP) - Compuesto termoplástico de polipropileno Curv®
Motor	Silencioso, sin escobillas, eléctrico
Bateria	15,2 V - 3700 m Ah
Camara	senseFly S.O.D.A. 3D
OPERACÓN	
Máximo tiempo de vuelo	90 minutos
Velocidad crucero	40-110 km/h
Alcance Radio modem	3-8 Km
Resistencia al viento	Hasta 46 km/h
Cobertura máxima por vuelo	500ha
Máxima resolución (GSD)	46 cm
Precisión absoluta X,Y,Z (RTK-PPK)	1,5 cm



9. CONCLUSIONES

- A partir de coordenadas precisas obtenidas del posicionamiento se realizó el levantamiento aerofotogramétrico y topográfico los cuales fueron fundamentales para la obtención de la Ortoimagen, Modelo Digital de Terreno y la georreferenciación de las fotografías aéreas.
- El levantamiento aerofotogramétrico proporciona una gran cantidad de información sobre el terreno a nivel global y geométrico, así como también provee datos muy valiosos en cuanto el posible impacto medioambiental que se puede producir con la instalación de paneles solares en determinado entorno.
- En base al Modelo Digital de Terreno (MDT) es posible identificar las áreas que por sus características topográficas son óptimas para la instalación de los paneles solares tales como el relieve y drenajes, así como también sombras, caminos o carreteras.
- La digitalización de la cartografía base es fundamental para el análisis y cruce de datos ya que hace parte de las variables de estudio que permiten esclarecer las zonas de riesgo de inundación, zonas boscosas, líneas de transmisión eléctrica, entre otras características que permiten establecer la ubicación y desarrollo del proyecto.
- La instalación de paneles solares tiene impactos positivos a nivel nacional tales como la reducción de combustibles fósiles, gases de efecto invernadero y es un generador de desarrollo económico para el sector aduanero de Colombia.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Acuarel. (7 de Agosto de 2018). *Global Yachting Ibiza.* Obtenido de https://globalyachtingibiza.com/es/que-es-y-para-que-sirve-un-equipo-gnss/
- Dávila Martínez, F. J., & Camacho Arranz, E. (5 de Octubre de 2012). *Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas.* Obtenido de https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CTC-Ibercarto-V-Georreferenciacion.pdf#:~:text=La%20georreferenciación%20o%20rectificación%20es,origen%20y%20el%20sistema%20destino.
- Editorial Etecé. (14 de Julio de 2022). *Cartografía*. Obtenido de https://concepto.de/cartografia/
- Esri. (10 de 08 de 2021). *ArcGis Desktop*. Obtenido de ArcMap: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm
- FRANZPC. (9 de Enero de 2018). *Diferencias entre un DSM, DEM y DTM.* Obtenido de https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/
- Garciglia, R. S. (25 de Junio de 2020). *Drones: Tecnología a control remoto*. Obtenido de https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/150-numero-1957/301-drones-tecnologia-a-control-remoto.html
- HelixNorth. (24 de Enero de 2021). *Sistema Georreferenciado de datos RTK y PPK, ¿Cuál es mejor?* Obtenido de https://www.helixnorth.com/blog/sistema-georreferenciado-de-datos-rtk-y-ppk-cul-es-mejor
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (1 de Marzo de 1995). *ACERCA DE LA ENTIDAD*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad
- INEGI. (17 de Mayo de 2019). *Ortoimágenes*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/#Mapa
- INGENIERÍA, H. (30 de 05 de 2019). *HG INGENIERÍA* . Obtenido de HG INGENIERÍA : https://hgingenieria.com.co/que-es-un-parque-solar/
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (13 de Agosto de 1935). *Quiénes somos*. Obtenido de https://www.igac.gov.co/es/contenido/quienes-somos
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (Octubre de 2004). *Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia.* Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/adopcion.pdf
- Sáinz, P. O. (17 de Diciembre de 2020). *¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría?* Obtenido de https://av3aerovisual.com/que-es-y-para-que-sirve-la-fotogrametria/
- TopoTienda. (16 de Septiembre de 2020). *Todo lo que necesitas saber sobre las nubes de puntos 3D*. Obtenido de https://topotienda.com/noticias/31_que-es-una-nube-de-puntos-3d