Modelo De La Franja De La Carretera Obtenido Mediante Fotogrametría Con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)

Model Of A Section Of A Road Obtained By Photogrammetry Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Autores

Senén José Casquete Cedeño[1]. Dania Olga Abreu Hernández[2]

[1] Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil, Mención Vialidad e-mail: ccsenenjose@hotmail.es , scasquete7420@utm.edu.ec

[2] Doctora en Ciencias Pedagógicas, Profesora Auxiliar, Ingeniera en Geodesia y Cartografía. Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae) e-mail:. daniah@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

La Fotogrametría digital como ciencia se ha revolucionado con el empleo de los vehículos aéreos no tripulados (VANT). Sus múltiples aplicaciones radican en la posibilidad de obtener imágenes del terreno sobrevolado a alturas inferiores a las que tradicionalmente se realizan con aviones tripulados. Esto permite realizar la representación a gran escala de la planimetría y la modelación del relieve; lo que resulta de gran utilidad para las ingenierías y las ciencias de la Tierra en general. La investigación desarrollada con la finalidad de obtener modelos digitales de elevación de la franja de la carretera mediante el empleo de VANT, se justifica por la necesidad de estudiar la infraestructura vial en zonas de interés municipal de la provincia de Manabí, en la vía Chade de los cantones Jipijapa y 24 de Mayo. Para la ejecución de los trabajos se empleó un procedimiento que a propuesta de los autores facilitó su organización en campo y gabinete. El equipamiento empleado cumple con los estándares de precisión exigidos y normados por el Instituto de Geografía Militar (IGM), como entidad rectora las ciencias geodésicas en el Ecuador. Los resultados obtenidos muestran modelos digitales de elevación de alta precisión en los que se pueden distinguir las características topográficas de la franja de la carretera; información que será empleada para las diferentes actividades relacionadas con el control de la red vial en el país, específicamente para dar cumplimiento al objetivo de identificar los deterioros en la superficie de rodadura de la carretera.

Palabras clave: vehículo aéreo no tripulado (VANT); ortofoto, modelo digital de elevación (MDE).

ABSTRACT

Digital Photogrammetry as a science has been revolutionized with the use of unmanned aerial vehicles (UAV). Its multiple applications lie in the possibility of obtaining images of the terrain flown over at heights lower than those traditionally made with manned aircraft. This allows large-scale representation of planimetry and relief modeling; which is very useful for engineering and Earth sciences in general. The research developed with the purpose of obtaining digital elevation models of the highway strip through the use of UAV, is justified by the need to study the road infrastructure in areas of municipal interest in the province of Manabí, on the Chade de Jipijapa and 24 de Mayo cantons. For the execution of the works, a procedure was used that, at the proposal of the authors, facilitated its organization in the field and in the office. The equipment used complies with the precision standards required and regulated by the Institute of Military Geography (IGM), as the governing body for geodetic sciences in Ecuador. The results obtained show high-precision digital elevation models in which the topographical characteristics of the road strip can be distinguished; information that will be used for the different activities related to the control of the road network in the country, specifically to comply with the objective of identifying the deterioration in the rolling surface of the highway.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV); orthophoto, digital elevation model (DEM).

Nota Editorial: Recibido: Septiembre 2022 Aceptado: Septiembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) se han convertido en la tecnología que ha revolucionado de manera significativa a las tradicionales técnicas de Fotogrametría. Si antes, la Fotogrametría analítica y luego la digital permitieron obtener imágenes del terreno con precisión necesaria para elaborar modelos del terreno en 3D. En la actualidad las imágenes obtenidas son captadas con mayor nivel de detalle al sobrevolar el terreno a menor altura de vuelo y realizar las tomas fotográficas con cámaras de alta gama.

Los VANT son utilizados para la resolución de problemáticas en distintos campos de aplicación, principalmente por su bajo costo, seguridad y su baja altura de vuelo [1]. Tomando como base la Fotogrametría digital se puede realizar el estudio y la determinación precisa de las ormas, dimensiones y ubicaciones de un objeto en la superficie terrestre, mediante la captura de fotografía desde el aire [2].

Cuando se utilizan VANT para un levantamiento se crea de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo. Esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas. También es posible emplear métodos combinados en los que se complemente el modelo fotogramétrico con mediciones directa mediante métodos topográficos [3].

Para los proyectos de carreteras las actuales potencialidades de la fotogrametría con VANT han ampliado las posibilidades de aplicaciones. El ortofoto y el modelo del terreno resultantes de un levantamiento fotogramétrico permite no solo proyectar la carretera, sino que se precisan características de la franja de la carretera que a menor altura pueden ser observadas y medidas con mayor precisión. Los modelos resultantes pueden ser utilizados para la inspección visual de la carretera, la geolocalización y monitoreo con diferentes fines, ya sea para la evaluación del estado de la vía como para el control de los desplazamientos, deterioros y la acción de diferentes desastres naturales o tecnológicos que afecten su funcionabilidad. La modelación de la franja de la carretera mediante la fotogrametría de precisión permite además identificar diversos factores tales como las irregularidades del terreno natural, la configuración de las secciones transversales a lo largo del eje de la vía y constatar las diferencias entre el proyecto original y los elementos terminados, etc [4].

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador es la entidad responsable de establecer las normas y los procedimientos operativos necesarios para el control y ejecución de los trabajos relacionados con la red vial. La calidad de los mismos depende de la correcta actualización de la información y del empleo de técnicas y procedimientos utilizados durante la ejecución de los trabajos, que garanticen una precisión adecuada. En la actualidad las entidades regionales y provinciales como Manabí, Guayas y Pichincha, han advertido sobre los efectos económicos que provoca el alza en los costos de los trabajos de mantenimiento de las carreteras debido al aumento de los deterioros. Los mismos pueden disminuirse si de forma sistemática son evaluados mediante el empleo de métodos y técnicas que faciliten su identificación a nivel de carretera y de red.

Mantener en buen estado la infraestructura vial es importante para evitar sobrecostos de operación en el transporte de personas y bienes. Un país que permita el deterioro de su infraestructura vial tendrá sobrecostos de operación vehicular en un rango que se puede ubicar entre 1 y 3% de su producto interno bruto nacional [5]. Es en estas circunstancias en las que la investigación se inserta en el proceso para la obtención de modelos de alta precisión devenidos de técnicas fotogramétricas en las que el empleo de VANT, permiten obtener información detallada de la vía, que puede ser utilizada con los fines antes mencionados.

Son estos los referentes de la investigación realizada en la provincia de Manabí, siguiendo un procedimiento que llega a la obtención de los modelos digitales de superficies de la franja de carreteras en una vía de interés para la provincia.

2. DESARROLLO

La investigación se realizó en la vía Chade, que conduce a la comunicación de los cantones de Jipijapa y 24 de mayo (detallado en la siguiente figura), al existir evidencias de diferentes tipos de deterioro luego de la última fecha de mantenimiento que data del 15 de agosto del 2015, lo cual fue constatado en la inspección visual realizada como parte de esta investigación. (Ver Figura No.1)

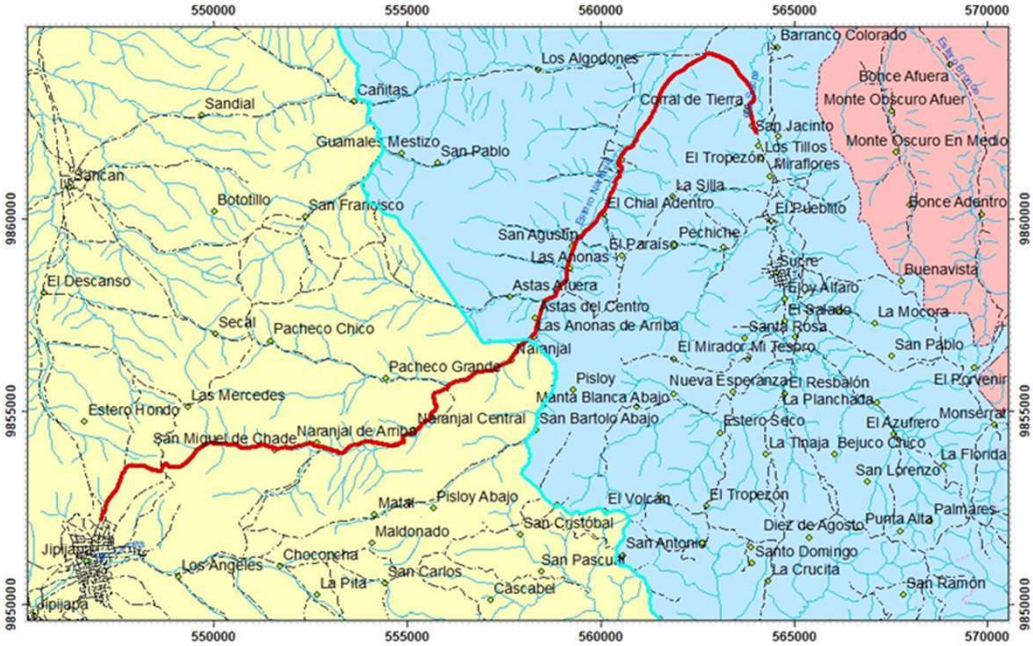

Figura. 1: Ubicación de la vía Chade. Fuente: Elaboración Propia (ArcMap 2022)

Se estableció un procedimiento, en el mismo se definieron secuencialmente los trabajos a ejecutar, desde tres actividades fundamentales: organización de los trabajos, de campo y de gabinete. Los trabajos de campo y de gabinete se realizaron en dos etapas atendiendo a los objetivos específicos de cada actividad (Figura No.2)

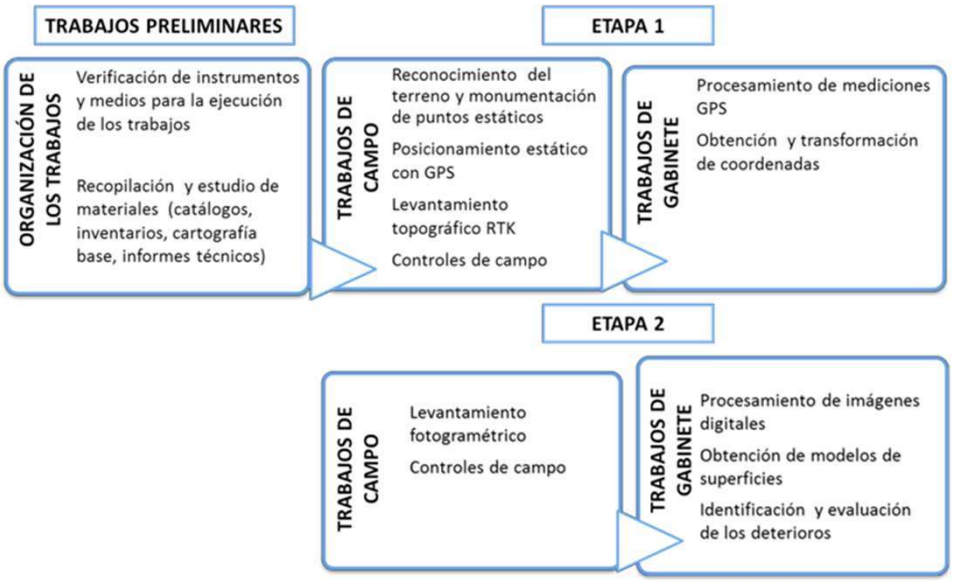

Figura 2: Procedimiento de los trabajos a ejecutar. Fuente: Elaboración propia

En esta etapa se realiza la organización de los trabajos como base para la correcta ejecución durante las diferentes etapas y tanto en condiciones de campo como de gabinete. De manera específica se deben constatar en la práctica la existencia y estado técnico de instrumentos de trabajo y los medios auxiliares. En el caso de no contar con la disponibilidad técnica para realizar las mediciones estos equipos deben ser verificados y certificados en laboratorios metrológicos antes de la ejecución de trabajos de campo. También debe ser comprobado el correcto funcionamiento de equipos de cómputo, software y bases de datos necesarias para realizar mediciones y procesamiento de información.

Constituyen referentes iniciales el estudio de documentos para el análisis histórico sobre el comportamiento de los deterioros en la carretera, entre ellos los informes técnicos con los resultados de los trabajos de mantenimiento realizados previamente, el inventario más actualizado de la vía, así como mapas catálogos e información detallada de la zona.

Contando con una correcta organización de los trabajos es posible ejecutar los trabajos comprendidos en cada una de las etapas concebidas.
El instrumental utilizado en el proyecto ejecutado fue:

- GPS GNSS de alta precisión Marca Trimble R8:
- Método Estático:

Horizontal: 3mm+0.1ppm
Vertical: 3.5 mm+0.4ppm

- Método RTK

Horizontal: 8mm+0.5ppm
Vertical: 15 mm+0.5ppm

- VANT: vehículo aéreo no tripulado (Drone) Phantom 4 Pro:
- Sensor CMOS de 1” pulgada
- Grabación de video H.264 4k a 60 fps o H.265 4k a 30 fps a una velocidad de bits de 100 Mbps
- Grabación de fotografías en ráfaga de 14fps.
- Máxima distancia operativa de 7km
- Altitud máxima operativa de 6000 metros

- Cámara Drone Phantom 4 Pro:
- Sensor CMOS de 1” de 20 MP
- Rango ISO video: 100 a -3200 Auto / 100 - 6400 Manual
- Rango ISO Foto: 100 a – 3200 Auto / 100 – 12800 Manual
- Video bitrato máximo de 100 Mbps

- Software: Trimble Business Center:
- Procesamiento y administración de datos de nubes de puntos, fotogrametría, instrumentos ópticos y GNSS.
- Procesamiento de datos GNSS, dibujo de secciones transversales y fotogrametría integrada.
-
- Agisoft Photoscan
- Procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para ser utilizado en aplicaciones GIS, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.

ETAPA 1

En la primera etapa se realizan los trabajos relacionados con la creación de una base de puntos geodésicos en el terreno. La densificación de puntos se realiza mediante tecnología GPS

Trabajos de campo

- **Reconocimiento del terreno y monumentación de puntos estáticos**

Se realizó la visita a la zona de trabajo para constatar en el terreno las características físico-geográficas y la posible ubicación de los puntos de la base. Se identificaron los puntos idóneos para empezar con el proceso de campo, en cuanto a la colocación de la Base se eligió en el Sitio San Manuel.

- **Posicionamiento estático con GPS**

El posicionamiento estático consiste en el clásico posicionamiento para la medida de distancias con gran precisión (5mm + 1ppm) en el que dos o más receptores se estacionan y observan durante un periodo mínimo de media hora, una o dos (o más), según la redundancia y precisión necesarias, y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar.

Se utilizó el método de trilateración de los satélites, mediante el cual se puede calcular la posición relativa

de los objetos a partir de la geometría de triángulos. Inicialmente se realizó la colocación de la base mediante la monumentación de puntos ubicados en lugares seleccionados a criterio de los especialistas, que cumplen con condiciones técnicas específicas del proyecto para luego ejecutar sus mediciones.

a) Colocación de la base

En este proceso se definieron los puntos a medir mediante el posicionamiento estático con GPS, con el objetivo de densificar la zona de trabajo, como base para los posteriores trabajos de levantamiento topográfico y fotogramétrico. Los puntos a medir fueron los siguientes:

Tabla 1.1: Lista de puntos

ITEMS	SITIO	CÓDIGO
1	CAZA LAGARTO (Captación)	ESTÁTICO
2	SANCAN	ESTÁTICO
3	JOA	ESTÁTICO
4	CHADE (Estación de Bombeo GUESBOL)	ESTÁTICO
5	BASE SAN MANUEL (Planta de Potabilización)	BASE
6	REDONDEL (Estación de Servicio)	ESTÁTICO
7	EL CHOCLO	ESTÁTICO
8	LA MONA	ESTÁTICO
9	LAS ANONAS (Estación de Bombeo)	ESTÁTICO
10	LA BALSA (Estación de Bombeo)	ESTÁTICO

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO RTK

ITEMS	SITIOS	CANTÓN
1	PLANTA SAN MANUEL (Planta de Potabilización)	JIPIJAPA
2	CAZA LAGARTO (Captación y Bombeo)	SANTA ANA

LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

ITEMS	SITIOS	CANTÓN
1	LA BALSA (Estación de Bombeo)	24 DE MAYO
2	LAS ANONAS(Estación de Bombeo)	24 DE MAYO
3	CHADE (Estación de Bombeo GUESBOL)	JIPIJAPA
4	VÍA CHADE	JIPIJAPA
5	TANQUES - LAS ANTENAS	JIPIJAPA

Una vez que se obtuvo el listado de los lugares donde se requerían los Puntos con métodos estáticos, se realizó la visita técnica identificando los puntos más idóneos para empezar con el proceso de campo, en cuanto a la colocación de la Base se eligió en el sitio SAN MANUEL.

b) Medición de puntos mediante el método estático

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

El criterio para decidir la ubicación de cada punto estático se realiza con fin de que sea representativo en el espacio global del proyecto, y se ha tenido en cuenta de marcarlos en puntos seguros de preferencia elementos existentes de hormigón, para impedir que posibles obras futuras puedan hacerlos desaparecer además, suficientemente alejados de edificios, árboles y todo tipo de obstáculos que hicieran imposible la medición con GPS, ya que necesita una amplia visión del cielo para captar el mayor número de satélites posible. (Figura No.2)

Figura.2: Posicionamiento estático con GPS

Trabajos de gabinete

- **Procesamiento de las mediciones con GPS**

En gabinete una vez descargada la información se procesó en el software Trimble Business Center, este software TBC, combina datos obtenidos a partir de mediciones GPS; garantizando de esta manera información confiable y precisa; todo en un solo entorno de trabajo. Se efectuó el procesamiento de observaciones GPS estáticas o cinemáticas, a través de cálculos y correcciones para el ajuste de poligonales. Finalmente se obtuvo un informe de procesamiento de líneas base reflejado en coordenadas X, Y y Z, referidas al elipsoide WGS84. (Ver tabla 1.2)

Tabla 1.2 : Parámetros y resultados de procesamiento estático

Datos del archivo del proyecto		**Sistema de coordenadas**	
Nombre:	Estáticos Jipijapa	Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:	287 KB	Datum:	WGS 1984
Modificado/a:	20/11/2020 23:58:53	Zona:	17 South
Zona horaria:	Hora est. Pacífico,	Geoide:	EGM96 (Global)

LISTA DE PUNTOS ESTÁTICOS

ITEMS	**SITIO**	**Este**	**Norte**	**Elevación**	**Código de**
1	CAZA LAGARTO	571455.949	9866029.484	62.728	ESTÁTICO
2	SANCAN	545960.089	9861513.467	231.858	ESTÁTICO
3	JOA	541394.377	9848147.105	188.281	ESTÁTICO
4	CHADE (Estación de	552117.048	9853173.071	340.147	ESTÁTICO
5	BASE SAN MANUEL	550676.383	9851993.117	487.056	ESTÁTICO
6	REDONDEL (Estación de	545548.424	9850190.185	258.572	ESTÁTICO
7	EL CHOCLO	546836.745	9852822.750	355.109	ESTÁTICO
8	LA MONA	547041.246	9849960.797	341.218	ESTÁTICO
9	LAS ANONAS (Estación	558232.559	9856955.769	195.641	ESTÁTICO
10	LA BALSA (Estación de	566046.644	9866645.250	73.109	ESTÁTICO

- **Levantamiento topográfico modo (RTK)**

Se realizó el levantamiento topográfico con GPS en tiempo real, con precisión centimétrica (1 ó 2 cm + 1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o "rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Se precisa la transmisión por medio de un sistema de telecomunicaciones (vía radio - modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre referencia y rover. Esta sería una restricción en la utilización de este método (en dependencia del alcance de la transmisión). (Figura No.3)

Figura 3: Levantamiento RTK con GPS

ETAPA 2

Trabajos de campo

- **Levantamiento fotogramétrico**

Para la obtención altimétrica, curvas de nivel y representación de los detalles planimétricos de la zona de interés se combinaron los métodos de topografía mediante posicionamiento estático para georeferenciación y la fotogrametría aérea para la obtención de modelos del terreno.

Los trabajos se realizaron de la forma siguiente:

a) Planificación de Vuelo. - Se definió los parámetros geométricos del vuelo, y se pudo conseguir una adecuada cobertura fotográfica, que permite el óptimo aprovechamiento de este material. Se consideró las óptimas condiciones climáticas para el vuelo (nubosidad, lluvia, viento) que fue de gran importancia para la correcta obtención de fotografías.

b) Ubicación de puntos de apoyo. Se realizó el levantamiento de los puntos de control terrestre, que fueron utilizados como referencia. Según el plan de vuelo se ubican, para poder enlazar las diversas misiones de vuelo, y ajustar las imágenes a las coordenadas reales. En el proyecto se ubicaron 4 puntos para el área de trabajo, estos fueron medidos con equipamiento GPS. Los puntos de apoyo fotogramétrico (PAF) constituyen la base principal y fueron medidos por el método de estáticos móviles; tomados en distintos horarios para posteriormente ser procesados en el software Trimble Business Center utilizando los sistemas de coordenadas con proyección UTM Zona 17S y DATUM WGS84, (Figura No.4)

Figura 4: Puntos de apoyo fotogramétrico (PAF)

c) Fotografía Aérea. - Es uno de los aspectos más importantes del proceso, se obtuvo el material fotográfico necesario para llevar adelante este proyecto fotogramétrico. En principio se requirió una adecuada cobertura fotográfica, tal que cada parte del terreno o área de interés fue registrada, garantizando resultados fotográficos aceptables, tal como se muestra en la imagen (Figura No.5)

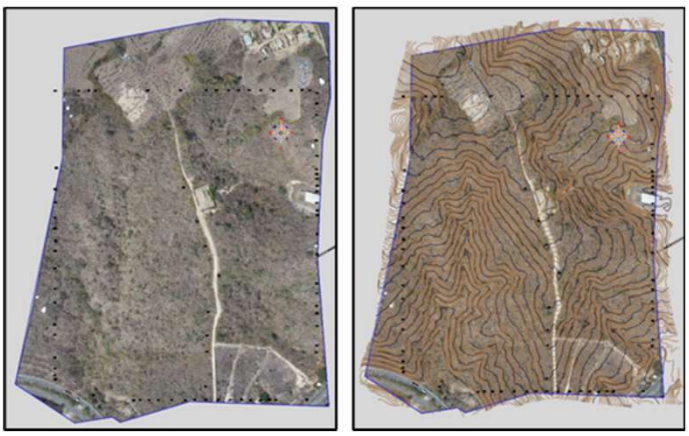

Figura 5: Vista en planta nube densa de puntos. Fuente: (Elaboración propia)

d) Ejecución del Vuelo. - Se obtuvieron las imágenes fotográficas de acuerdo a la planificación previa, tal como se muestra en la siguiente (Figura No.6). Se ejecutaron vuelos de acuerdo a lo que se realizó en cada toma de recorrido del área de interés. Posteriormente el material fotográfico se procesó en software de avanzada, "aerotriangulación automatizada", para obtener distintos productos fotogramétricos.

Figura 6: Ejecución del vuelo con VANT

Trabajos de gabinete

Con el apoyo del software de avanzada aerotriangulación automatizada como el Agisoft Photoscan se procesaron las imágenes para generar nubes de puntos que permitieron construir los ortomosaicos y modelos digitales de superficie (MDS) y del terreno (MDT) en 2D y 3D.
El levantamiento fotogramétrico permitió representar los detalles planimétricos y altimétricos de la zona de trabajo, así como la zona accidentada que comprometían la seguridad tanto de los equipos y personal bajo esta modalidad. Se optimizan los tiempos de trabajo de campo y se representa con mayor exactitud los detales y características del terreno. Para la toma de datos y fotografías aéreas se usó una aeronave no tripulada, drone marca DJI modelo PHANTOM 4PRO V2.0, cámara de 20 megapíxeles.

Para el área que corresponde La Balsa, Las Anonas, Vía Chade y Tanques – Las Antenas se realizó un vuelo para cada una con una altura de 100 metros con relación al punto de despegue de la aeronave se cubrió las áreas expuestas en el cuadro resumen, considerando detalles como trazados de vías, estructuras importantes que se pueden apreciar en la ortofoto. La fotogrametría se planificó en el software PIX4DCapture, siguiendo los más eficaces métodos fotográficos para obtener una nube de puntos densa, modelo digital de terreno y orto mosaico de calidad.

Configurando las misiones en tierra con los parámetros que optimicen la toma de fotografías aéreas, con ángulo 90° y traslapes de fotografías frontal (Overlap) 75% y de gran importancia para que existan puntos de características comunes, los cuales son correlacionadas y triangulados para determinar la posición de cada uno de los miles o cientos de puntos que conforman la nube y así reconstruir el modelo digital de elevaciones en el Software Agisoft PhotoScan.

- **Evaluación de la precisión del modelo**

Para la evaluación de la precisión del modelo

Los resultados del procesamiento de las imágenes permiten comprobar que la precisión obtenida está definida por el GSD (Ground Sample Distance, por sus siglas en inglés). Se relaciona con la altura de vuelo, la distancia focal, la resolución de la cámara, entre otros [6].

La expresión que define el GSD es la ecuación 1:

$$\mathrm{GSD} = \frac{\text{Altura de vuelo. Altura del sensor}}{\text{Dist focal. Altura de la imagen}} \tag{1}$$

Actualmente los VANT más comunes como los Phantom 4 PRO de DJI, que cuentan con un sensor de 20 megapixel, alcanzan una resolución de 2 cm de tamaño de pixel [7].

3. RESULTADOS

La ejecución del procedimiento propuesto permitió obtener los modelos digitales de elevación de las áreas planteadas y estudiadas. Fueron escogidas 5 lugares característicos en los cuales se encuentran tramos de carreteras de interés para la provincia.

Tabla 1.3 : Áreas de levantamiento fotogramétrico con VANT

ITEMS	SITIO	CANTÓN	ÁREA (Ha)
1	LA BALSA (Estación de Bombeo)	SANTA ANA	8.2ha
2	LAS ANONAS (Estación de Bombeo)	24 DE MAYO	6.49ha
3	CHADE (Estación de Bombeo GUESBOL)	JIPIJAPA	172.55ha
4	VÍA CHADE	JIPIJAPA	17.26ha
5	TANQUES - LAS ANTENAS	JIPIJAPA	25.57ha
		TOTAL:	230.07ha

En los resultados que se muestran se evidencia la calidad del modelo dada la precisión obtenida a partir del cálculo del GSD. Se diferencian en las dimensiones en ha de cada zona y la altura de vuelo que osciló

entre los 90-120 metros. La cantidad de imágenes en cada vuelo está determinada por el área cubierta en cada misión, utilizando como traslape el 75%, detallados en las siguientes imágenes, con sus respectivos vuelos.

Vuelo la balsa (Figura No.7)

- Método de vuelo: GRID MISSION (For 2D maps):
- Misiones: 1 misión de vuelo
- Área cubierta de vuelos: 8.2 Ha
- Tiempo estimado por vuelo: 10 minutos por misión.
- Baterías a Utilizar por vuelo: 1 batería.
- Cantidad de Imágenes: 70 fotos por vuelo.
- Altura del VANT: 90 metros desde el punto de vuelo.
- Velocidad: 10 m/seg
- GSD: 2.47 cm/ pixeles.

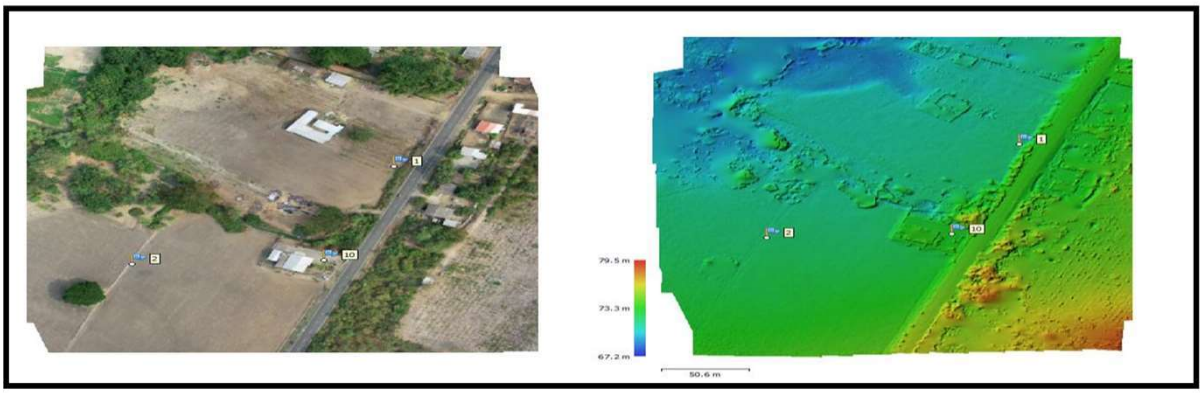

Figura 7: Ortofoto y modelo digital de elevaciones con puntos de control terrestre. La Balsa

Vuelo Las Anonas (Figura No.8)

- Método de vuelo: GRID MISSION (For 2D maps):
- Misiones: 1 misión de vuelo
- Área cubierta de vuelos: 6.49 Ha
- Tiempo estimado por vuelo: 12 minutos por misión.
- Baterías a Utilizar por vuelo: 1 batería.
- Cantidad de Imágenes: 80 fotos por vuelo.
- Altura del VANT: 90 metros desde el punto de vuelo.
- Velocidad: 10 m/seg
- GSD: 2.35 cm/ pixeles.

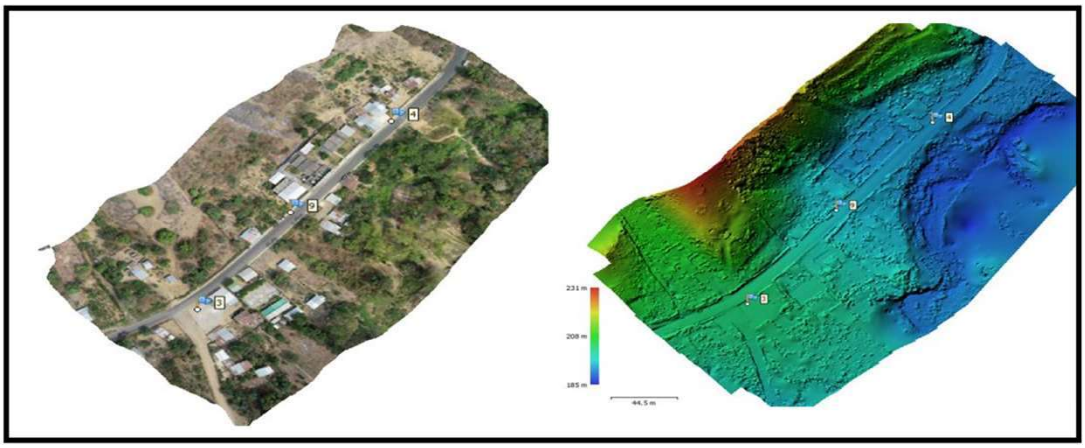

Figura 8: Ortofoto y modelo digital de elevaciones con puntos de control terrestre. Las Anonas

Vuelo Chade (Estación de bombeo GUESBOL) (Figuras No.9 y 10)

- Método de vuelo: GRID MISSION (For 2D maps):
- Misiones: 5 misión de vuelo
- Área cubierta de vuelos: 172.55 Ha
- Tiempo estimado por vuelo: 16 minutos por misión.
- Baterías a Utilizar por vuelo: 5 baterías.
- Cantidad de Imágenes: 1287 fotos por vuelo.
- Altura del VANT: 120 metros desde el punto de vuelo.
- Velocidad: 10 m/seg
- GSD: 3.07 cm/ pixeles.

Figura 9: Ortofoto. Estación de bombeo Guesbol

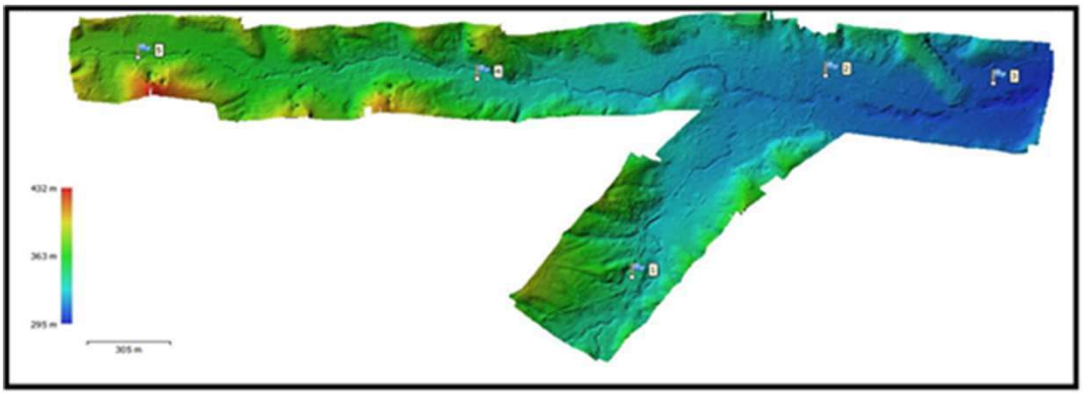

Figura 10: Modelo digital de elevaciones con puntos de control terrestre. Estación de bombeo Guesbol

Vuelo Vía Chade (Figura No.11)

- Método de vuelo: GRID MISSION (For 2D maps):
- Misiones: 1 misión de vuelo
- Área cubierta de vuelos: 17.26 Ha
- Tiempo estimado por vuelo: 10 minutos por misión.
- Baterías a Utilizar por vuelo: 1 batería.
- Cantidad de Imágenes: 213 fotos por vuelo.
- Altura del VANT: 90 metros desde el punto de vuelo.
- Velocidad: 10 m/seg
- GSD: 3.02 cm/ pixeles.

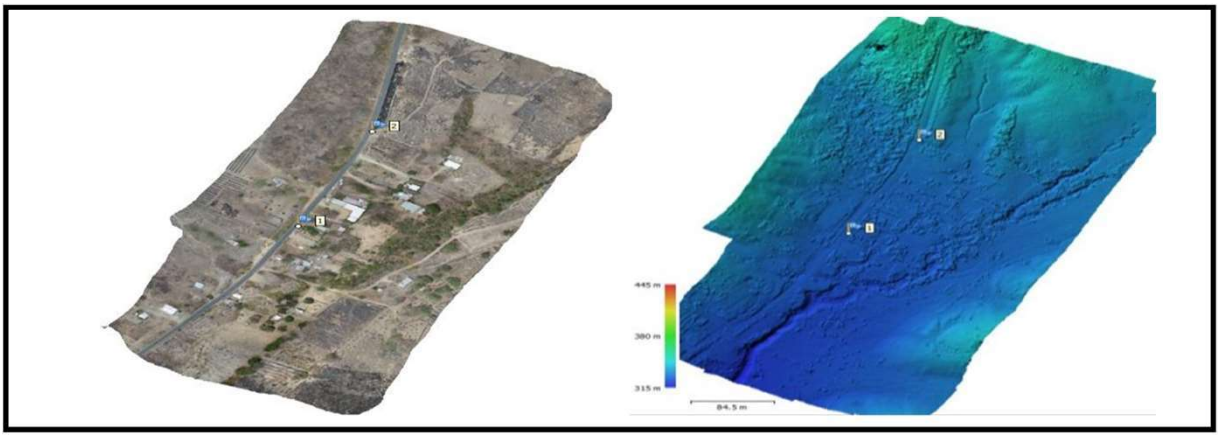

Figura 11: Ortofoto y modelo digital de elevaciones con puntos de control terrestre

Vuelo Tanques – Las Antenas (Figura No.12)

- Método de vuelo: GRID MISSION (For 2D maps):
- Misiones: 1 misión de vuelo
- Área cubierta de vuelos: 25.57 Ha
- Tiempo estimado por vuelo: 10 minutos por misión.
- Baterías a Utilizar por vuelo: 1 batería.
- Cantidad de Imágenes: 232 fotos por vuelo.
- Altura del VANT: 90 metros desde el punto de vuelo.
- Velocidad: 10 m/seg
- GSD: 3.02 cm/pixeles.

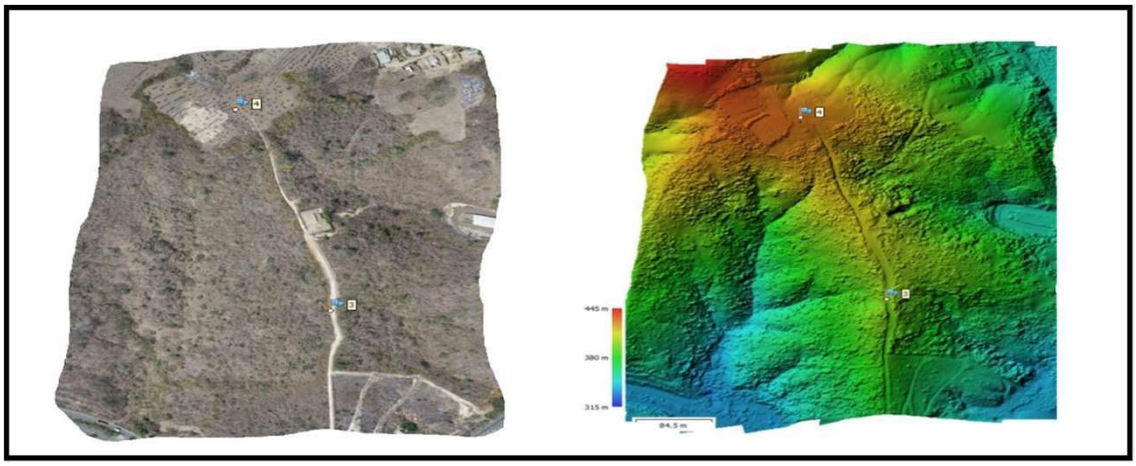

Figura 12: Ortofoto y modelo digital de elevaciones con puntos de control terrestre

El cumplimiento de la misión planificada para la ejecución de los vuelos fotogramétricos en tramos de la franja de la carretera de la vía Chade en la provincia de Manabí, se realizó atendiendo a las características topográficas de cada zona, diferenciadas por el área, relieve y cobertura vegetal. Se definieron de esta manera los parámetros técnicos que garantizaron la obtención de una precisión aceptada en los cinco casos estudiados.

Autores como Novara, M. y Jácamo, E. [1], refieren que la altura de vuelo, el tiempo de cada toma y el solapamiento influyen directamente en la precisión obtenida, pero que sobrestimar valores de precisión añadirían inconvenientes relacionados con la demora y el encarecimiento de los trabajos. Se estima para el presente trabajo que valores de GSD inferiores a los 3,5 cm x pixel son aconsejables para garantizar modelos de detalle planimétrico y altimétrico que permitan identificar deterioros en la superficie de rodadura de la carretera. Este indicador fue cumplido en los cinco casos de estudio.

Un análisis preliminar permitió constatar que se pueden definir en los modelos obtenidos rasgos distintivos de la franja relacionados con el relieve y dimensiones de la carretera. Se precisa profundizar en la aplicación de técnicas para la interpretación del ortomosaico y determinación de las diferencias de altura en el modelo. Esta combinación facilita la identificación de los indicadores del deterioro en la superficie, que deben ser contrastados con los resultados de la inspección visual in situ durante las etapas iniciales de los trabajos. De esta manera se facilita el proceso de inspección visual de la carretera en la medida que se adquiera mayor experiencia en la aplicación del procedimiento propuesto.

4. CONCLUSIONES

El levantamiento fotogramétrico con VANT en la vía Chade permitió obtener ortomosaicos y modelos de elevación de la franja de la carretera con precisión inferior a los 3,5 cm x pixel, a partir de misiones que cumplieron con parámetros de altura de vuelo entre los 90 y 120 metros, solapamiento del 75% y tiempo estimado de entre 10 y 16 minutos por misión. Estos estuvieron condicionados por las características topográficas relacionadas con el área, relieve y cobertura vegetal.

La funcionalidad de los modelos obtenidos estará determinada por la posibilidad de realizar monitoreos sistemáticos, para identificar deterioros en la superficie de rodadura de la carretera. Es posible obtener modelos de mayor precisión con la variación de los parámetros de vuelo y métodos de trabajo; considerando que a menor altura se puede captar con más precisión los detalles del terreno y que con el empleo del posicionamiento por el método RTK se logra mayor veracidad de la información que se procesa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. M. Novara, y Jácamo, E. (2019). Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) para la generación de Modelos Digitales Superficies de alta resolución. Aportes metodológicos sobre las distintas alturas de vuelo. XVII Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica - CONFIBSIG. Buenos Aires: Universidad de Luján.
2. E., Quirós (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. España: Universidad de Extremadura.
3. J. A. Gonçalves and Renato Henriques. "UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas." ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing 104 (2015): 101-111.
4. L. Casanova, (2022). Topografía plana. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Vías.
5. A. Bull (2003). Mejoramiento de gestión vial con aportes específicos del sector privado. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6416/1/S036386_es.pdf
6. M. García (2018). Aerial Insights. Obtenido de https://www.aerial-insights.co/blog/6-errores-en-vuelos-con-drones-2.
7. Machado, M. y Pertúz, J. (2020). Análisis de la utilización de drones para el levantamiento topográfico en sitios habitados donde se presentan aguas estancadas en el municipio de Ciénaga Magdalena. (A. Burgos, Ed.) Santa Marta, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia Facultad de Ingenierías.