



**LOS LIBERTADORES**  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

**RECONSTRUCCIÓN 3D E INSPECCIÓN VISUAL ESTRUCTURAL  
MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA DRON DEL SANTUARIO  
LA VALVANERA, PATRIMONIO CULTURAL Y TURÍSTICO DEL  
MUNICIPIO DE CHÍA.**

**3D RECONSTRUCTION AND VISUAL STRUCTURAL INSPECTION  
THROUGH THE USE OF DRON TECHNOLOGY OF LA  
VALVANERA SANCTUARY, CULTURAL AND TOURIST  
HERITAGE OF THE MUNICIPALITY OF CHÍA.**

**Jhon Sebastian Merchan Camelo**, Ingeniero Aeronáutico

Contacto: [jsmerchanc@libertadores.edu.co](mailto:jsmerchanc@libertadores.edu.co)

**Monica Cardenas Morales**, Ingeniera Aeronáutica,

Contacto: [mcardenasm01@libertadores.edu.co](mailto:mcardenasm01@libertadores.edu.co)

Dirigido Por: **Jaime Enrique Orduy Rodriguez M.Sc**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Especialista en Sistemas de Aeronaves No Tripuladas.**

Fundación Universitaria Los Libertadores.  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.  
Bogotá, Colombia.  
2022

## RESUMEN

El turismo es una de las principales actividades económicas en Colombia [1], especialmente en municipios que no tienen el privilegio de contar con grandes presupuestos e inversión, derivados de los grandes dividendos generados por su industrialización y recaudo de impuestos, este es el caso de Chía, un municipio que aunque se ha visto afectado por un aumento poblacional exponencial en los últimos años (Ver Anexo 1), está aún lejos de ser una ciudad principal, más aún, añadiendo que es conocido por ser en su gran mayoría una zona agrícola en su zona rural y residencial en su casco urbano. Debido a esto, y teniendo en cuenta uno de sus principales lugares turísticos, el santuario Nuestra Señora de La Valvanera, es que este documento, tiene como objetivo la reconstrucción tridimensional e inspección visual estructural de dicho santuario, todo ello con base en un registro fotográfico obtenido en su gran mayoría, con tecnologías drone, con una previa y adecuada planeación para esta misión en específico en *Softwares* diseñados para esta tarea, siguiendo parámetros ideales para el cumplimiento ideal de la misma, las cuales se han post procesado para obtener un modelo 3D con sus respectivos entregables (Orto mosaico, modelo 3D y DEM), que a fin de cuentas son los que dan detalle de lo obtenido. Al haber llevado a cabo este proceso y haber aplicado las tecnologías mencionadas se han obtenido como principales derivados, el modelo digital en tercera dimensión y una serie de muestras visuales sobre el estado de la muestra arquitectónica estudiada en relación con su estado y conservación o posibles temas puntuales a vigilar detalladamente para evitar su decadencia, los cuales se evidenciarán a lo largo de este trabajo como figuras con su respectiva descripción. Esto lo que finalmente da a conocer es la capacidad de este tipo de tecnologías tanto como para la digitalización de manera fiel de un patrimonio cultural y potencializarlo, como la amplia gama de oportunidades que de

estos procesamientos se pueden llevar a cabo, en este caso, el peritaje del estado de preservación de este.

***Palabras clave:*** Reconstrucción, 3D, Postproceso, Dron, Arquitectónico.

## **ABSTRACT**

Tourism is one of the main economic activities in Colombia [1], especially in municipalities that do not have the privilege of having large budgets and investments derived from the significant dividends generated by its industrialization and tax collection; this is the case of Chía, a municipality that, although it has been affected by an exponential population increase in recent years (See graphs 1 and 2), is still far from being a leading city, even more so, adding that it is known for being primarily an agricultural area in its rural area and a residential area in its urban area. Due to this, and taking into account one of its main tourist places, the Nuestra Señora de La Valvanera sanctuary, this document aims to provide three-dimensional reconstruction and structural visual inspection of the sanctuary, all based on a photographic record obtained in its great majority, with drone technologies, with previous and adequate planning for this specific mission in Software designed for this task, following ideal parameters for the perfect fulfillment of it, which have been post-processed to obtain a 3D model. With their respective outcomes (Orthomosaic, 3D model, and DEM), which, after all, are the ones that give details of what was obtained. Having carried out this process and applied the technologies mentioned above, the three-dimensional digital model and a series of visual samples on the architectural sample studied in relation to its state and conservation or possible topics have been obtained as leading derivatives. Punctual to monitor in detail to

avoid its decline, which will be evidenced throughout this work as figures with their respective description. This finally reveals the capacity of this type of technology both for faithfully digitizing cultural heritage and potentiating it, as well as the wide range of opportunities that these processes can carry out, in this case, the expert opinion of the state of preservation of the same.

**Keywords:** Reconstruction, 3D, Post-processing, Drone, Architectural.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el modelamiento en 3D utilizando la tecnología dron, es un método efectivo al momento de recrear estructuras, objetos, reconstrucción de accidentes, inspeccionar estructuras, entre otras aplicaciones; tomando fotografías siguiendo un patrón de vuelo establecido por medio de aplicaciones como Pix4D, *Mission Planner*, DJI Go. Dichas aplicaciones permiten generar toma de fotografías en diferentes instantes de tiempo recreando una base de datos fotográfica para su post procesamiento en aplicaciones de fotogrametría como *Agisoft Metashape* utilizada en este proyecto, la cual permite generar ortomosaicos, modelos digitales de elevación, nube de puntos densa, triangulación fotométrica, tomar medidas de distancias, áreas y volúmenes, y realizar levantamientos topográficos.

Por medio de los UAV's, se pueden realizar inspecciones estructurales de grandes infraestructuras para recrear reconstrucciones en 3D, por medio de fotografías aéreas donde

se logran identificar diferentes patologías estructurales tales como grietas, fugas o corrosión que se puedan presentar en la infraestructura, gracias a la alta definición de las cámaras que manejan este tipo de aeronaves no tripuladas. Los drones permiten acceso a zonas que puedan ser difíciles para el ser humano o de alto riesgo. Adicionalmente, el uso de drones en las inspecciones estructurales ayuda a la reducción de costos, ya que suele optimizarse el tiempo de inspección y la mano de obra; mejoran la obtención de datos siendo estos más precisos al momento de evaluar el estado de la estructura. De igual modo brindan una mayor cobertura para la toma de fotos, videos, mediciones e imágenes térmicas; capturando esta información de una manera más fácil y desde un ángulo óptimo y práctico. Con los drones se elimina la necesidad de instalación de equipos para la inspección de estructuras, tales como andamios, grandes escaleras u otros equipos de acceso para la visualización de hallazgos en la infraestructura, esto ayuda al ahorro de tiempo en cada inspección requerida para cada infraestructura. Este método de inspección es seguro y permite acceso a lugares de difícil acceso, por lo cual requiere de menos esfuerzo y el operador que requiera hacer dicha inspección la podrá hacer desde un lugar seguro. [2]

Este artículo se centra en la reconstrucción 3D y una inspección visual de la estructura con el UAV DJI Mavic Air Pro, en el santuario de la Valvanera, el cual se encuentra ubicado en el municipio de Chía en el cerro de la Cruz, construida en el año de 1937 [3] y considerada como patrimonio cultural de dicho municipio, debido a su ubicación y elevación a la cual este se encuentra, está expuesto a cambios estructurales causados por efectos ambientales tales como terremotos o sismos que pueden afectar su estructura; adicional expuesta a la continua humedad de la atmósfera debido al clima del municipio de Chía que alcanzan los 18°C con una humedad relativa del 79% [4] aproximadamente dependiendo de la estación

del año, así mismo ha estado propensa a sedimentaciones del terreno debido a su posición geográfica. Con el objetivo de generar un modelo de reconstrucción 3D del Santuario nuestra señora de la Valvanera, así como su inspección visual estructural con ayuda del producto obtenido, por medio de post procesamiento en *Software* de imágenes obtenidas con drones, con la finalidad de dar un concepto preliminar de posibles problemas estructurales evidenciados y entregables que sirvan como potenciadores del sitio turístico a la Alcaldía del municipio de Chía.

### *1.1 DJI Mavic 2 Pro*

El dron DJI Mavic 2 Pro, permite tomar fotografías y videos con su sistema omnidireccional e infrarrojo, tomando capturas complejas con facilidad debido a su tecnología de detección de obstáculos y modos de vuelo inteligente como *Hyperlapse*, punto de interés, *ActiveTrack 2.0*, *TapFly*, *QuickShots*, Panorámica y sistemas avanzados de asistencias de piloto. Este dron con estabilizador de tres ejes y sensor en la cámara CMOS de 1” permite grabar videos en 4K, realizar captura de imágenes con 20MP. Ofrece un alcance de 8 km, su control remoto funciona con una frecuencia de 2.4 GHz como a 5.8 GHz, con una duración de 2 h, 15min; alcanza una velocidad máxima de vuelo de 72km/h con un tiempo de vuelo de 31 min. [4]

La Tabla 1 presenta las Especificaciones de la cámara DJI Mavic 2 Pro

Cámara	Mavic 2 Pro	
Sensor CMOS 1"	Píxeles efectivos: 20 millones	CMOS 1/2.3" Píxeles efectivos: 12 millones
Objetivo FOV: aprox 7,7°	Formato equivalente a 35 mm 28mm Apertura f7,8 – f/11 Rango de enfoque: 1 m a ∞	FOV: aprox. 83° (24 mm) aprox. 48° (48mm) Formato equivalente a 35 mm: 24 a 48 mm Apertura: f/2,8 (24 mm) - f/11 (48mm) Rango de enfoque: 0,5 m a ∞
Rango ISO Video: 100 – 6400	Foto: 100 – 3200 (auto) 100 – 12.800 (manual)	Video: 100 – 3200 Foto: 100 – 1600 (auto) 100 – 3200 (manual)
Velocidad de obturación Obturador electrónico: 8 – 1/8000 s Obturador electrónico: 8 – 1/8000 s		
Tamaño de fotografía 5472*3648 4800*3000		
Modos de disparo único		Disparo único
	Disparo en ráfaga: 3/5 fotogramas Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 horquilla de exposición a 0,7 EV bias Intervalo (JPEG): 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s) (RAW: 5/7/10/15/20/30/60 s)	Disparo en ráfaga: 3/5/7 fotogramas Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 horquilla de exposición a 0,7 EV bias Intervalo (JPEG): 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s) (RAW: 5/7/10/15/20/30/60 s)

Tabla 1. Características de la cámara del DJI Mavic 2 Pro.

Fuente: Manual DJI Mavic 2 Pro

## 1.2 Cámara Digital Panasonic Lumix DMC-LZ40

Cámara utilizada para la toma del suelo que para el dron no fueron posibles de captar con calidad ideal, tiene las especificaciones descritas en la Tabla 2 [5]:

Píxeles efectivos de la cámara	20,0 megapíxeles
Tamaño del sensor/Píxeles totales/Filtro	Sensor CCD de 1/2,3 pulgadas/Número total de píxeles: 20,5 megapíxeles/Filtro de colores primarios
Grabación de película (*2)	Video HD: 1280 x 720 píxeles, 30 cps (HD/Motion JPEG) Video STD: 640 x 480, 30 cps (VGA/Motion JPEG)

	Video STD: 320 x 240, 30 cps (QVGA/Motion JPEG)
Calidad de las Imágenes Grabación de imágenes fijas	[4:3] 5152 x 3864 (20 M) /3264 x 2448 (8 M EZ) /2048 x 1536 (3 M EZ) /640 x 480 (0,3 M EZ)
Potencia	Paquete de baterías de iones de litio (3,6 V, 1250 mAh, 4,5 Wh)

Tabla 2. Características de la cámara Panasonic Lumix DMC-LZ40.

### 1.3 Google Earth para selección del área de trabajo

*Google Earth* es una herramienta gratuita la cual contiene un almacenamiento de imágenes satelitales y aéreas 3D, con características geológicas a gran escala, como edificios urbanos, terrenos, lagunas entre otras zonas geográficas, esta herramienta permite geo localizar un punto según su geográfica, usando coordenadas del punto que se desea encontrar, brindando una cobertura satelital las cuales permiten generar polígonos para extraer un archivo en formato klm y usarlo para planear una ruta de vuelo. Dentro de sus características principales, se encuentran:

- *Google earth time-lapse*: Está opción permite recrear una línea de tiempo combinando imágenes satelitales con más de 40 años, visualizando la evolución que se ha generado a nivel geográfico.
- *Street view*: es una herramienta que tiene una vista 3D de la ubicación, se pueden observar y navegar hasta la zona que se desea explorar
- *Proyectos en Google Earth*: permite crear proyectos para editar mapas creando capas, asignándole un lugar, foto. Vídeo o texto. Se puede obtener un archivo tipo KLM que

posterior se puede utilizar para realizar post procesamientos en aplicaciones para ejecución de rutas de vuelo.

#### *1.4 Software de planeación Pix4D*

Pix4D es un *software* de fotogrametría que permite procesamiento de imágenes sean estas de toma aérea tripulada o no tripulada o terrestre, extrae de manera automática fotogramas de los videos para crear un proyecto. Tiene variedad de cámaras que permite configurar para la toma de fotografías, procesa en conjunto las imágenes de diferentes cámaras. Con su soporte de datos RTK /PPK+IMU permite una calibración más rápida y sólida cuando se utiliza el canal de geolocalización preciso. La característica de soporte de orientación exterior de la cámara optimiza los parámetros de orientación de la cámara a partir de los parámetros de entrada del GPS y la IMU. Así mismo la importación de nubes de puntos externas permite su importación de diferentes fuentes, como LiDAR para generar MDS y ortomosaicos. La Tabla 3 presenta las Características de procesamiento. [6]

<i>Características de procesamiento</i>
Autocalibración de la cámara: optimiza los parámetros internos de la cámara para comprobación del conjunto de datos mientras se encuentra en el lugar del proyecto
Densificación automática de nubes de puntos: produce nube de puntos 3D densa y detallada, que puede utilizarse como base para el MDS y la malla 3D
Clasificación de nubes de puntos mediante aprendizaje automático: Clasifica automáticamente la nube de puntos densa RGB en cinco grupos de superficies de tierra, vegetación alta, edificios y objetos hechos por el hombre

Definición el área del proyecto: Importa (.shp) o dibuja áreas específicas para generar más rápidamente resultados dentro de límites específicos
<b><i>Característica de salida</i></b>
Resultados de salida en 2D: Ortomosaicos de nadir en formato GeoTIFF, ortomosaicos de ortoplanos definidos por el usuario en formato GeoTIFF, Exporta mosaicos en Google en formato GeoTIFF, mapas índices (térmicos, DVI, NDVI, SAVI, etc.) en formato GeoTIFF y GeoJPG, exporta mapas de prescripción en formato .shpato .shp
Resultados de salida en 3D: PDF 3D para compartir fácilmente la malla 3D, malla con textura 3D completa en formato. Obj, .ply, .dxf y .fbx, curvas de nivel en formato .shp, .dxf, .pdf, nube de puntos clasificada en formato .las y csv.

Tabla 3. Características procesamiento y formato de salida Pix4D

### *1.5 Software de post procesamiento Agisoft Metashape*

*Agisoft Metashape* es un *software* independiente el cual permite un procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D. Por medio de este *software* se presentan diferentes resultados tales como un DEM/DTM /DTS, los cuales permiten brindar información completa de determinado terreno. Adicionalmente permite trabajos como triangulación fotogramétrica con procesamiento de diversos tipos de imágenes aéreas y de corto alcance, nube de puntos densos edición y clasificación que permite elaborar la edición del modelo para obtener resultados precisos, exportación ortomosaico georeferenciado, medidas: distancias, áreas y volúmenes, puntos de control de tierra: topografía de la alta precisión. [7]

## 1.6 Principios de Fotogrametría y reconstrucción 3D

**Fotogrametría:** Consiste en la triangulación de imágenes donde cruzando líneas en el espacio se calcula una posición de un punto de coordenadas tridimensionales. Este método permite formular modelos 3D a partir de fotografías 2D esto es una medición indirecta debido a que las mediciones se efectúan sobre las imágenes. Con este método se puede obtener información cuantitativa fiable de los objetos físicos y su entorno, por medio de los procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas [8]

**Reconstrucción 3D:** Este método permite por medio de la recolección de imágenes recrear escenarios u objetos reales a modelos digitales; estos procesos son reproducidos por medio de un computador el cual mantiene sus características físicas tales como dimensiones, volumen y forma. Para las reconstrucciones 3D existen varios métodos tales como mallas 3D usando algoritmos, software como *Agisoft Metashape*, los cuales permiten por medio de las coordenadas de las fotografías recrear edificios, objetos, zonas geográficas, entre otros. [9]

## 2. METODOLOGÍA

Para este caso de estudio, se ha implementado la metodología del enfoque cualitativo de investigación o investigación naturalista, según Sampieri [8] y cuyo método consiste en seguir una serie de pasos (véase Figura 1), donde su principal característica y diferencia con otras metodologías, en especial de tipo cuantitativo, es que está, por ser de carácter cualitativo, permite desarrollar preguntas e hipótesis previas, en el transcurso o posteriores a la recopilación de información, lo cual, en resumidas cuentas, se ajusta con el proceso ideal del objeto de estudio del presente artículo, ya que, por medio de la recolección de datos y observación es posible determinar nuevas hipótesis y posibles problemáticas o resultados, que, finalmente serán desmentidos o corroborados con los resultados finales obtenidos y expuestos más adelante en este documento.

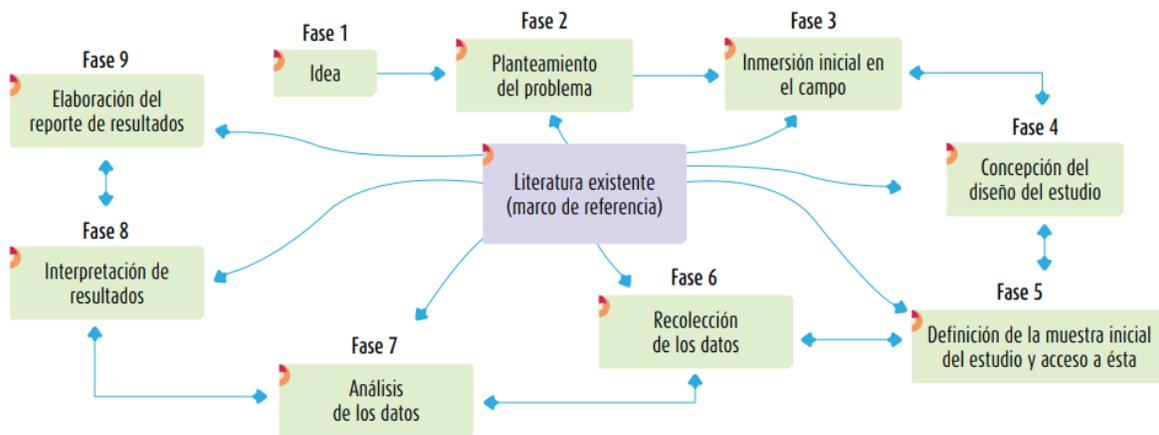


Figura 1. Metodología del proceso cualitativo

Debido a ello se propuso, basado en bibliografía revisada, aterrizar este conocimiento a una idea práctica de aplicación a una muestra arquitectónica, que es patrimonio cultural y lugar turístico establecido en el municipio de Chía, Cundinamarca; donde para este tipo de edificaciones, se evidencia un alto nivel de complejidad a la hora de realizar mantenimiento y detección de fallas o posibles problemas nacientes, así como su seguimiento respecto al tiempo, puesto que es además de riesgoso para las personas que realicen este trabajo, debido a la poca regularidad en la forma de la estructura y en especial el techo, riesgoso para el patrimonio como tal, ya que la forma tradicional de inspeccionar este tipo de arquitecturas es mediante el uso de andamios, instalación de grilletes y trabajo sobre las paredes y techos de las estructuras, lo que, al final de cuentas pone en peligro de daños e incidentes el patrimonio en sí. Debido a esto, se detecta la necesidad de poder llevar a cabo este tipo de inspección de una manera que permita hacer más eficiente el proceso, el tiempo implementado en el mismo y la seguridad de las personas que lo hace, ya que, no deja de ser un trabajo repetitivo y con alto riesgo. Como resultado de esto, el presente estudio hace especial énfasis en la aplicación de elementos tecnológicos derivados de la tecnología dron y los conocimientos adquiridos

en la Especialización en Sistemas de Aeronaves no Tripuladas mediante la reconstrucción tridimensional de la capilla para su posterior inspección visual, buscando dar una opción a la manera en que se hacen estos trabajos. Todo esto, cumpliendo los pasos de la metodología mencionada así: en primer lugar se revisa la bibliografía que pueda dar indicios de cómo llevar a cabo el proceso, se establece la problemática o idea que se tiene respecto al proyecto planteando de esa manera cómo podría orientarse la investigación, se hace un estudio previo de lo que se pretende hacer teniendo en cuenta ayudas tecnológicas y equipos a utilizar para así determinar un diseño ideal para llevar a cabo el estudio, posteriormente se establece el área de estudio y condiciones como la accesibilidad y posición geográfica para su planeación de misión específica para este caso en especial, en seguida se ejecuta la misión ya pre diseñada con el fin de obtener la materia prima para realizar el procesamiento, después se procesa todo lo obtenido con la finalidad de obtener resultados que posteriormente servirán como resultados propensos a ser interpretados, pasa así finalmente tener la capacidad de dar un parte preliminar acerca del estado de la estructura posterior al procesamiento de imágenes mediante *Software* especializados para las tareas en cuestión y la generación del modelo 3D de la capilla para su uso ya sea publicitario, informativo o pedagógico por parte del municipio.

### **3. PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA MISIÓN**

Fue indispensable para este apartado del proyecto, planear con antelación una serie de pasos para poder llevar a cabo sin inconvenientes la misión cuando se estuviera en campo, sin embargo, en esta sección era primordial su planificación desde oficina, para esto fue de vital

importancia tener en cuenta factores como la normatividad, la cual para Colombia está establecida mediante el RAC (Reglamento Aeronáutico Colombiano), en su apéndice 13 [11] y 3 Resolución N° 04201 de Diciembre 27 del 2018 [12], las condiciones meteorológicas [13], las cuales para este vuelo y según la norma vigente, debían cumplir unas condiciones como: cumplir con la altura máxima de vuelo del dron, el cual no debía sobrepasar los 123m, no permitir que la aeronave se alejara más allá de 500m del operador, no superar los 25 Kg de MTOW de la aeronave ni los 80 km/h de velocidad, entre otros, para lo cual se inició seleccionando el área efectiva de estudio, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Ubicación y selección del área de trabajo.

Fuente: Preparada por los autores.

Teniendo claridad de los aspectos legales, se procedió a la planificación y selección del área de trabajo, proceso que se llevó a cabo mediante el uso de Google Maps, *Software* libre de visualización geográfica, generando un polígono que cubriera el área deseada y el cual posteriormente se exportó en formato .kml para así poder visualizar en los programas

aplicables. lo que, para en este caso, tienen como finalidad la planeación de la misión para que de esta manera se presenten vuelos de manera automatizada y por ende resultados más precisos a la hora de obtener las fotografías, esto, ya que, el algoritmo del Programa utilizado para este punto (Pix4D), brinda un acompañamiento de la aeronave, desde el momento de su despegue, obtención de la información y cumplimiento de la misión, hasta el aterrizaje; para este caso es indispensable aclarar, que al momento de la ejecución de los vuelos, se tenían pre establecidas una serie de misiones trabajadas y diseñadas acordes a la misión, sin embargo, al llegar al sitio de interés, se observó que se contaba con una conexión ideal de internet y de señales, tanto GPS como emisor-receptor de la aeronave, por esto, y para hacer más preciso el resultado, hubo momentos en que se corrigieron dichas misiones ya en campo, editando parámetros como velocidades de vuelo y ángulos de captura para obtener más imágenes y por ende más información, es importante especificar que previo al desarrollo de cada misión y desde el momento previo a la salida hacia campo, se implementó y se dio cumplimiento a listas de chequeo con fin de que todo estuviera preparado, desde los equipos con su respectiva carga, calibración, memoria y conexión, hasta las condiciones características como las condiciones meteorológicas, inspección de obstáculos , RTH, entre otros; para la puesta en marcha de este estudio se llevaron a cabo cinco vuelos, en los cuales la misión de cada uno de ellos fue recolectar la información necesaria, en este caso fotografías, para poder llevar a cabo el post procesamiento correspondiente, donde cada una de las misiones complementa la anterior para así llegar a cubrir de la mejor manera el área de interés, tal como se evidencia en la Tabla 4.

### MISION 1

MAVIC 2 PRO

GSD 1.76 cm/px

76

75

74

m

127x96 m  
10min:00s

START

### MISION 2

MAVIC 2 PRO

GSD 1.41 cm/px

41

40

39

m

104x96 m  
7min:00s

START

### MISION 3

MAVIC 2 PRO

GSD 1.53 cm/px

41

40

39

m

140x96 m  
7min:30s

START

### MISION 4



Tabla 4. Misiones llevadas a cabo para la obtención de imágenes.

Dentro del paso anterior, cabe destacar que, adicionalmente, fue necesario el ajuste de ciertos parámetros desde la aplicación mencionada, estableciendo parámetros para cada uno de los vuelos, los cuales caracterizan cada vuelo y dan las condiciones requeridas de precisión en las fotografías con el fin de tener una redundancia necesaria entre cada fotografía para así obtener la mayor precisión a la hora de buscar puntos comunes entre fotografías a la hora del post procesamiento, tales como lo son la configuración del home, un GSD lo más bajo posible, ya que “cuanto mayor es el valor del GSD de la imagen, menor será la resolución

espacial de la imagen y los detalles serán menos visibles” [14] y traslapes horizontal y vertical como principales características, de lo cual se pueden obtener detalles en la Tabla 5.

VUELO	1	2	3	4	5
COORDENADAS HOME	4°51'50.04" N - 74°04'43.23" O				
TIEMPO (m)	10:00	7:00	7:30	20:30	8:00
VELOCIDAD (m/s)	4	4	4	4	4
GSD (cm/pix)	1,76	1,41	1,53	0,94	1,69
TRASLAPE HORIZONTAL (%)	90	90	90	90	90
TRASLAPE VERTICAL (%)	90	90	90	90	90
FOTOS	87	50	33	73	33
ALTITUD UBICACIÓN (m)	2690	2690	2690	2690	2690
ALTURA VUELO (m)	75	40	40	40	50
DIAMETRO/PERIMETRO (m)	223	40	50 OVAL	223	50 OVAL

Tabla 5. Parámetros de los vuelos.

Finalmente, para esta sección, se llevaron a cabo los vuelos en el área prevista, dando cumplimiento a todo lo previamente planeado y cumpliendo con los requisitos, se hace énfasis en que este vuelo fue llevado a cabo en una zona rural, donde el control de la aeronave (Mavic 2 Pro) estuvo a cargo de un piloto certificado e inscrito como operados RPAS (Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia) ante la AAC (Autoridad de Aviación Civil) colombiana, el cual conto con un observador durante cada instante de todas las misiones y donde en cada momento se tuvo una VLOS (Línea de Vista Visual) constante.

## 4. RESULTADOS

Como finalidad de esta sección está socializar y explicar de manera breve y concisa, los resultados obtenidos luego de llevar a cabo el paso a paso en la interfaz del *Software Agisoft Metashape* necesario y recomendado para obtener los resultados propuestos, y cuya misión, ha sido la base principal de acción desde el inicio del presente artículo, se hace énfasis en que fue necesario hacer uso de la nube ofrecida por *Agisoft*, llamada *Agisoft cloud*, para así poder llevar a cabo un procesamiento exitoso, pues, al llevar a cabo el procesamiento, un PC estándar entraba en falla y el *Software* se cerraba automáticamente debido a los requerimientos de sistema que la cantidad de fotografías y precisión requerida, para esto, las especificaciones del *Hardware* ofrecido en la nube (ver Figura 3) fueron un punto indispensable para llevar a cabo el procesamiento exitoso.

Hardware		
Actualmente, el servicio utiliza dos tipos de nodos informáticos. El tipo de nodo informático para cada procesamiento individual se selecciona aleatoriamente.		
<b>UPC</b>	<b>GPU</b>	<b>RAM</b>
<b>TIPO 1:</b> 32 vCPU 2,7 GHz, Intel Xeon E5 2686 v4	2 x NVIDIA Tesla M60	244 GB
<b>TIPO 2:</b> 32 CPU virtuales de 3,3 GHz, AMD EPYC 7R32	2 x AMD Radeon Pro V520	128GB

Figura 3. Especificaciones de Hardware ofrecidas por Agisoft Cloud. [15]

Para ello es imprescindible describir el modelo del flujo de trabajo realizado para la comprensión por parte de los lectores del procedimiento realizado y para así tener una mayor

claridad de los resultados para todo el público, ya sea que maneje o no el tema en cuestión. Para comenzar y estando ya ubicados en la interfaz del *Software*, se procedió a seleccionar las imágenes indicadas y obtenidas en los pasos anteriores, para así importarlas al área de trabajo y comenzar el procedimiento, una vez hecho esto, se llevó a cabo la orientación de las mismas con precisión máxima para aumentar la exactitud, ya que, al ser tomadas mediante un DJI Mavic 2 Pro, se obtienen fotos georreferenciadas, las cuales, a la hora de la orientación en el programa, lo permiten de una manera más sencilla y precisa, como se muestra en la Figura 4.

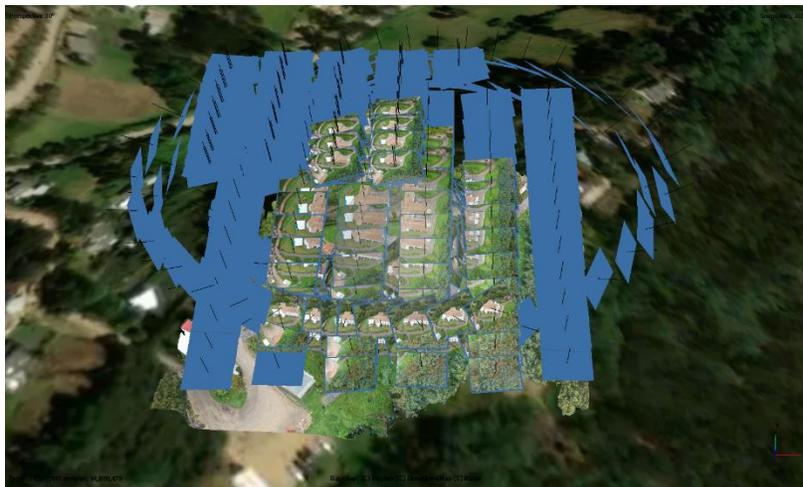


Figura 4. Orientación de las fotografías.

Una vez realizado este paso, se genera una serie de puntos de enlace, los cuales son los puntos en común entre fotografías, que el programa encuentra a la hora de hacer la comparación y el barrido de imágenes cargadas, encontrando puntos específicos con la misma información y generando una serie de puntos preliminar, aquí se selecciona o redefine el volumen de

trabajo deseado con el fin de optimizar recursos y no obtener información que no se desea, como se muestra en la Figura 5



Figura 5. Puntos de paso generados en el modelo.

En seguida se llevó a cabo la generación de Nube de Puntos Densa, la cual se hizo, donde se puede observar ya de manera más fiel el objeto en cuestión a ser reconstruido, en este caso también se utilizó la calidad más alta para así recibir por parte del *Software* la mejor retribución y así generar una mayor cantidad y mejor calidad de puntos, destacando que se ha realizado un faltado agresivo con el fin de seleccionar solo los puntos con mayor información ideal y por ende que brindarán mayor información para los siguientes procesos, esta nube de puntos densa actúa generando un punto tridimensional o vértice, derivado de cada pixel tomado, obteniendo un total de 133'224.291 puntos y generado el resultado de la Figura 6. Esta es finalmente la base principal para generar el modelo 3D.



Figura 6. Nube de puntos densa.

Teniendo la nube de puntos densa, se procedió a realizar la clasificación de dichos puntos, teniendo categorías tales como, vegetación densa, vegetación leve, vehículos, terreno, objetos hechos por el hombre, edificios, entre otros, donde a cada una de esas categorías el programa les asigna un color determinado, cabe destacar que *Agisoft* hace una clasificación automática, pero está en espacios complejos como este no genera un nivel de confianza óptimo, por lo cual para aumentar la precisión del modelo, como se muestra en la Figura 7. También se realiza en este paso la limpieza de la nube puntos.

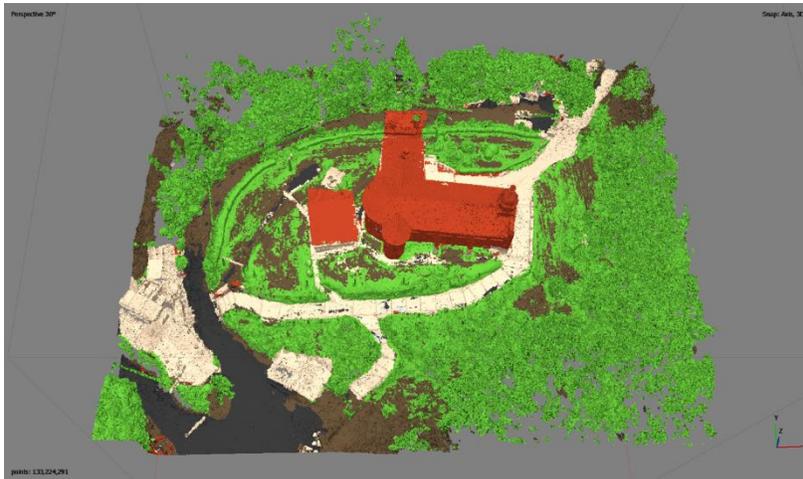


Figura 7. Clasificación de la nube de puntos.

Tomando como partida la nube de puntos densa generada y su superficie 3D, se da inicio al procesamiento y la creación de maya del modelo, obteniendo así un mejor realce del modelo, cuyo procedimiento se lleva a cabo mediante la unión punto por punto de la nube con el fin de dar unión a cada sección, para así comenzar a trabajar todo como un elemento único, como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Modelo de malla de alambre.

Al haber realizado la malla, se comienza con la creación de la textura del modelo, para este punto, el modelo trabaja sobre la malla monocromática, asignando colores a los elementos del modelo detectados en las imágenes iniciales, de la manera más precisa posible, permitiendo que el resultado sea presentado de manera más real y representativa de la realidad, dando fin a esta parte del proceso mediante la creación del modelo de teselas, cuyo propósito es mejorar la resolución final del modelo, como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Modelo con textura y modelo de teselas.

Es en este momento cuando se genera el Modelo Digital de Elevaciones, el cual se genera nuevamente respecto a la nube de puntos densa, su propósito es generar de manera cartográfica y generalmente (como en este caso), indicando las alturas tanto del terreno como de los factores externos que se evidencien en el modelo, todo esto con el uso de colores, que mediante una regla indicadora que el mismo *Software* genera, presenta las alturas mencionadas, mostrando de manera intuitiva cuales son los puntos más altos y bajos del área estudiada, estas alturas son dadas respecto al nivel del mar, sin embargo, haciendo la

operación, es posible obtener los puntos más altos del modelo respecto al terreno, como se observa en la figura 10.

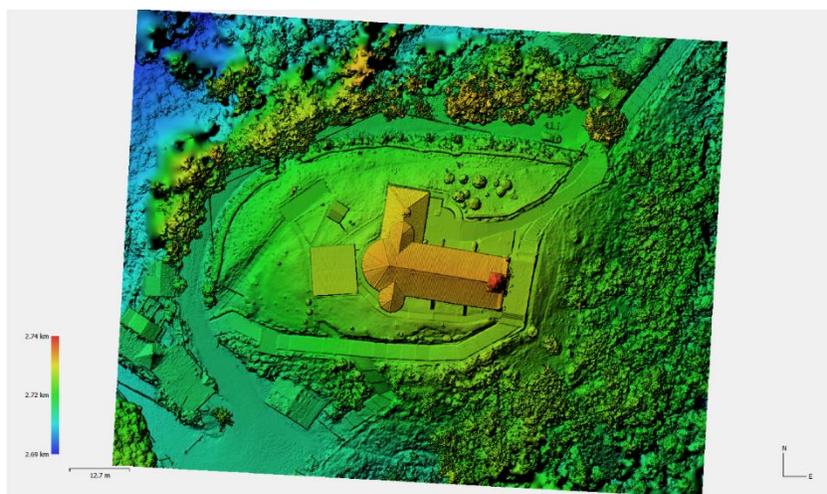


Figura 10. Modelo Digital de Elevaciones.

Ahora, de la misma manera en que se generó el punto anterior, es posible realizar una variación del mismo, denominado Modelo Digital de Terreno, que, a fin de cuentas, cumple el mismo propósito que el modelo digital de elevaciones y se genera de la misma manera, con la diferencia de que este, al momento de inicializarlo en el *Software*, se hace sobre la nube de puntos densa ya clasificada exhaustivamente, ya que así el programa determina y diferencia a que clase hace parte cada elemento, seleccionando para este tan solo los puntos de terreno clasificados anteriormente, haciendo a un lado la vegetación, las edificaciones, vehículos y objetos construidos por el hombre, dando una realidad aproximada de cómo es el terreno donde se encuentra construido para este caso el Santuario estudiado, como se observa en la Figura 11. Es importante resaltar que se obtuvo para este modelo una resolución

de 1,46 cm/píxel y una imagen resultante de 8838x7041 píxeles, y que el punto más alto obtenido en el modelo se encuentra a los 2742 msnm.

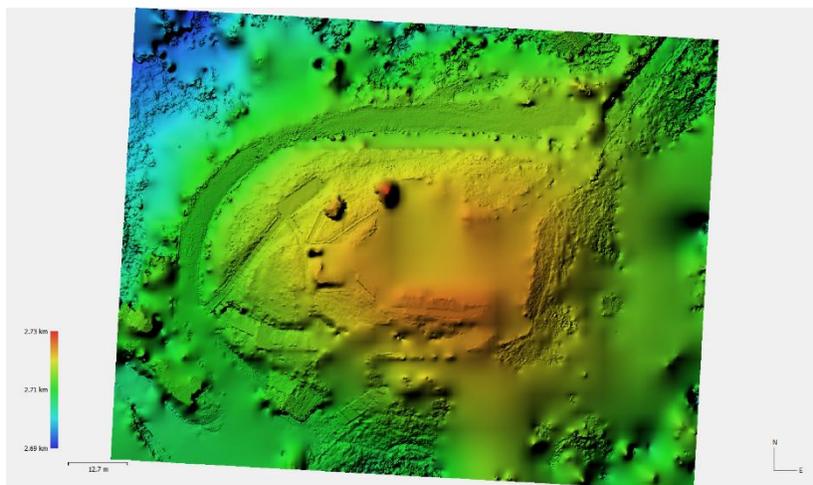


Figura 11. Modelo Digital de Terreno.

Sobre este mismo resultado del Modelo Digital de Terreno (como en este caso), o sobre el Modelo Digital de Elevación, es posible realizar la generación de las curvas de nivel, las cuales, son una optimización a la manera como se observan los cambios y diferencias en alturas del terreno, las cuales se pueden visualizar mediante una serie de líneas o curvas, que para este caso se generaron cada 1 m de diferencia en altura, es decir, teniendo como altura más baja los 2694 msnm respecto al terreno y como altura más alta del terreno los 2742 msnm, por ende, teniendo 48 curvas de nivel, las cuales tienen la capacidad de mostrar o no la etiqueta con su valor correspondiente, como se observa en la Figura 12.

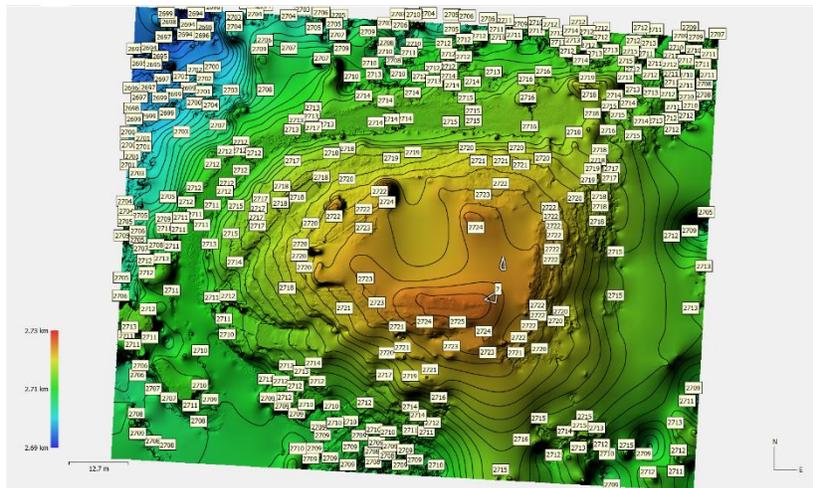


Figura 12. Modelo Digital de Terreno con curvas de nivel.

Para dar finalidad a este proceso, se da lugar al último procesamiento con el *Software Agisoft*, el cual consiste en originar el Orto mosaico, el cual se genera con respecto al modelo digital de elevación y cuya finalidad es generar una visualización con mayor detalle de la vista superior o de tipo satelital del área de interés, para este apartado fue importante habilitar los filtros que permiten refinar líneas de costura y permitir cierre de agujeros, para así completar en modelo en los lugares donde pudieran haber errores y obtener así una imagen en muy alta calidad, que permitiera observar de manera fiel el santuario, y especialmente, dar un resultado óptimo de detalle respecto a la solicitud presentada por parte del resguardo indígena a la hora de pedir el permiso, para con esta información llevar por parte de su personal de mantenimiento el estudio detallado del estado del tejado pues como se manifestó se han presentado problemas con filtraciones de agua que están perjudicando la estructura, como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Orto mosaico generado.

Como manera de visualización del resultado obtenido, se puede observar la Figura 14, en la cual se establece una comparación, entre la manera como el *Software* libre Google Earth presenta el modelo y el área de estudio, basado en imágenes satelitales, que, para este punto en específico, datan de ser tomadas el 12 de marzo del año 2020 y las cuales, aunque son claramente una gran ayuda y fiel consignación de la realidad, por ser precisamente imágenes tomadas por satélites que están a una gran distancia, cada fotografía abarca un área demasiado grande para poder brindar un nivel de detalle óptimo, mientras que al haber sobrepuesto el orto mosaico obtenido de todo el procesamiento anterior es posible visualizar esta misma área ya que el producto obtenido es georreferenciado y a la hora de importarlo a Google *Earth*, lo ubica exactamente en el lugar de origen esperado, mostrando un nivel de detalle mucho más óptimo y acorde a lo que este proyecto desde sus inicios planteo. Haciendo énfasis en que se obtuvo para este modelo una resolución de 1,46 cm/píxel y una imagen resultante de 8838x7041 píxeles.



Figura 14. Comparación imágenes Google Earth original (Superior) y Google Earth con orto mosaico sobrepuesto (Inferior).

Adicionalmente, se obtiene como derivado de todo el proceso correspondiente hasta la creación de la textura, el modelo 3D final, mediante el cual se logra una fiel reconstrucción del Santuario Nuestra señora de la Valvanera, el cual es amigable con el usuario y permite una visualización desde cada punto de ella, facilitando la manipulación del mismo mediante la interfaz del programa, y presentando una vista que permite su movimiento alrededor de los ejes X, Y y Z, su acercamiento y dando la perspectiva más real posible del Santuario físico; en la tabla 6 se puede observar un recopilado, extraído del modelo 3D de las

principales vistas de este mismo, obteniendo un resultado con 29'577.997 caras, siendo indicativo de la calidad “extra alta” aplicada.





Tabla 6. Vistas tomadas del resultado 3D del procesamiento (a) vista norte de la capilla, (b) vista nororiental de la capilla, (c) vista oriental de la capilla, (d) vista suroriental de la capilla, (e) vista sur de la capilla, (f) vista sur occidental de la capilla, (g) vista occidental de la capilla, (h) vista noroccidental de la capilla, (i) vista superior de la capilla.

A manera más específica, los resultados obtenidos, permiten la transformación de la estructura real, en una serie de modelos con diferentes formatos y finalidades, los cuales brindaran una cantidad importante de información, y que, de acuerdo a las necesidades, puede ser interpretada por especialistas de otras áreas, de diferentes maneras para así lograr objetivos distintos como lo son, estudio del suelo, inspecciones de las circunstancias de la capilla, modelos como uso promocional o pedagógico, todo esto, luego del proceso comenzado como una captura de fotografías estándar.

## **5. INFORME**

Esta sección presenta los resultados obtenidos de manera concisa y detallada a los interesados, en este caso la alcaldía de Chía y resguardo Indígena, donde se presenta información de valor para ellos con la cual se resume y da cumplimiento efectivo al propósito del artículo y al presente estudio, Remítase al Anexo 2. Es importante destacar que en este informe se presentan fotográficamente los hallazgos evidenciados respecto al deterioro estructural externo de la capilla, dando un resumen de lo encontrado, además de una detallada muestra de hallazgos correspondientes al estado del techo de la misma, lo cual da respuesta a la solicitud realizada por parte del señor Mauricio Quecan a la hora de tramitar los permisos correspondientes.

## **6. CONCLUSIONES**

La implementación de nuevas tecnologías es una realidad que ya se está implementando en el mundo en general, y la construcción o arquitectura no son la excepción, es por eso que, en esta gran industria, se ha dado cabida al uso de los drones y sus múltiples aplicaciones, encontrando al año 2022 usos como lo son la inspección y avance de obras, inspección y reconstrucción de fachadas, verificación del estado de puntos en específico que se deseen evidenciar o seguir, inspección de estructuras y redes eléctricas, usos en la minería y canteras, o, en este caso, inspección visual del estado de una edificación, patrimonio cultural y turístico junto con su reconstrucción 3D. Y, es respecto a esto y al proceso llevado a cabo este estudio, que se ha llegado a una serie de conclusiones como lo son:

La puesta en marcha de un vuelo de aeronaves tripuladas no es algo que se deba realizar a la ligera, sino que conlleva una gran planeación previa, en la cual se deberán tener en cuenta diferentes factores como la geografía del lugar, los equipos a utilizar con su respectiva calibración y estado funcional, la meteorología prevista para realizar los vuelos, las listas de chequeo preparatorias y tener en cuenta la clasificación de mi vuelo según la normativa vigente de la Autoridad de Aviación Civil que corresponda, para así contar con los permisos necesarios cuando se requiera.

El post procesamiento de imágenes es un proceso arduo y delicado, el cual requiere de un alto nivel de precisión, ya que a mayor nivel de planeación y veracidad a la hora de obtener materia prima, mayor será la calidad de los resultados, sin pasar por alto el procesamiento, el cual brindara resultados conforme al cuidado y parámetros de calidad con los cuales se hayan realizado el proceso, desde la óptima selección de imágenes e importación al Software, hasta la generación de modelos 3 D y orto mosaicos correspondientes.

Los entregables, o resultados de un proceso son aquellos archivos que se entregan al cliente o que recibo como retribución a un proceso en *Software*, este permite, depende el tipo, llevar a cabo un sin número de posibilidades cuando respecto a inspección y detallado se trata, así, los principales entregables que este proyecto contemplaba dan utilidades así: El ortomosaico permite una detallada inspección de la vista superior del área estudiada, permitiendo ver detalles que una fotografía cruda no, el modelo 3D brinda la posibilidad de hacer una inspección y reconstruir de manera fiel un objeto, para así poder representar la realidad de la manera más ideal posible, dando múltiples posibilidades de uso posterior del modelo.

El Santuario Nuestra Señora de la Valvanera, es un lugar que congrega a un sin número de fieles y turistas, por lo cual, es parte fundamental en el entorno social, cultural y económico del municipio de Chía, sin embargo, a Junio de 2022, presenta un avanzado nivel de deterioro estético de la estructura, debido a que según la sección de resultados y en especial el informe generado a los interesados, cuenta con una gran cantidad de humedades, manifestándose con moho en las paredes, pérdida del color original, desprendimiento de la pintura y por ende exposición a los elementos medioambientales, también se encontró una problemática mayor en su parte superior, puesto que mediante el orto mosaico generado, se evidencian espacios importantes entre cada sección del tejado, aumentando la posibilidad de filtraciones de agua, problema que de por sí manifestaron los interesados, además de evidenciarse la presencia de bastantes tejas individuales rotas y posibles problemas de adherencia de las mismas, también se evidencio desprendimiento o falta de adherencia de material que impide filtraciones. En otras secciones, se presentan grietas considerables tanto en la estructura como en el terreno, entendiéndose por andenes y circundancias inmediatamente conjuntas a la capilla, así como en algunas de las columnas exteriores que soportan la estructura, las cuales evidencian en gran medida la posible cedencia del terreno, unas de ellas con avanzada pérdida de material que las recubre, además se observa la presencia de una gran cantidad de corrosión en las secciones metálicas, tales como ventanas y puertas, especialmente en la sección posterior de la capilla. Los aleros presentan desprendimiento de la madera que los recubre dando la posibilidad al ingreso a la capilla de roedores o palomas, pues hay material orgánico que da indicios de ello, hay muestras de poli sombra a la vista en esta sección, lo que opaca la estética del lugar. También se presentan algunos vidrios rotos, como en la zona occidental de la capilla y su zona posterior, la mampostería en color Ocre que rodea la capilla, en especial su frente se

encuentra en condición de desgaste, ya que las humedades y la pérdida de material son un común que se ha detallado en esta sección, generando problemas ampliamente visibles y lugares en específico donde la pintura se ha abombado, es importante mencionar que en la mampostería superior de las columnas frontales, se presencian agrietamientos y zonas con alto riesgo de desprendimiento, lo cual se traduce en un gran riesgo ya que se encuentra en la zona de acceso de visitantes a la capilla. En la parte frontal de la capilla, más exactamente en la baranda en hormigón que se encuentra en el mirador, se presencian grietas de tamaño considerable que ponen en peligro la estructura en sí, además de su alto nivel de deterioro en la pintura de la misma, se observan los amarres o hierro interno que lleva la estructura, lo cual puede ser causante de corrosión y filtraciones internas. En la sección del suelo, en los escalones se evidencia la presencia de vegetación invasora, mediante los orificios donde no hay presencia de la unión de las rocas que dan lugar a los escalones. Respecto a la cúpula se evidencia en su mayor parte problemas de pintura, ya que es evidente la humedad que ha afectado esta zona, así como la falta de algunos de los mosaicos circundantes y decorativos de la misma. La cruz cercana al pozo se encuentra deteriorada, pues en su sección media perdió gran parte del material y se sostiene en gran medida por el acero interno, poniéndola en peligro de colapso, Finalmente, se encuentran problemas respecto a la iluminación exterior, pues una gran mayoría de las farolas y lámparas se encuentran en gran deterioro e incompletas.

Se encuentra aconsejable la llevada a cabo de un mantenimiento exhaustivo a la capilla, puesto a que como en el punto anterior se especificó detalladamente, la humedad es una constante en la estructura, así como el avanzado deterioro general de la pintura y de las tejas

en su techo, más aun siendo una parte tan importante de la historia del municipio y un tesoro tanpreciado para los habitantes del mismo.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Es importante reconocer y recalcar el papel primordial de la Alcaldía de Chía, en cabeza del señor alcalde Luis Carlos Segura Rubiano, así como del resguardo Indígena del mismo, con la representación del señor Gobernador Mauricio Quecan, ya que su colaboración y diligencia con permisos y coordinaciones, fue sumamente importante para poder llevar a cabo los vuelos de levantamiento de información que permitieron llevar a cabo el presente estudio y los resultados que se presentan en este artículo.

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Contenido\*, M. (2022, 19 mayo). *Turismo, una apuesta por el desarrollo económico*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/mas-contenido/turismo-una-apuesta-por-el-desarrollo-economico-673399>

[2] Marketing. (2022, 25 abril). Inspecciones estructurales técnicas con drones: cómo se hacen y ventajas. Ingenieros Asesores. <https://ingenierosasesores.com/actualidad/inspecciones-tecnicas-con-drones/>

- [3] *Capilla de Nuestra Señora de la Valvanera | Guía de Chía | Toda la información del municipio de Chía.* (2020, 2 enero). *guia de chia*. <https://guiadechia.com/capilla-de-nuestra-senora-de-la-valvanera/>
- [4] *El clima en Chía, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark.* (2022). *Weather Spark*. <https://es.weatherspark.com/y/23319/Clima-promedio-en-Ch%C3%ADa-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [5] *Especificaciones - DMC-LZ40 Cámaras Compactas LUMIX - Panasonic Perú.* (2022). *Panasonic*. <https://www.panasonic.com/pe/consumo/camaras-y-videocamaras/camaras-compactas-lumix/dmc-lz40.specs.html>
- [6] *Pix4D mapper 4.6 Lista características.* (s. f.).
- [7] *BMP Renta.* (2021, 11 mayo). *Agisoft - Metashape Professional - Softwares UAS*. <https://bmprenta.cl/producto/agisoft-metashape-professional/>
- [8] *Facultad de Ingeniería UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE.* (2020). *Principios de fotogrametría.* Centro de ciencias aplicadas.
- [9] Grandón-Pastén, N., Aracena-Pizarro, D., & Tozzi, C. L. (2007). RECONSTRUCCIÓN DE OBJETO 3D A PARTIR DE IMÁGENES CALIBRADAS. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 15(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-33052007000200006>
- [10] Sampieri, R. H., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (2014). *Metodología de la investigación.* McGraw-Hill Education.
- [11] *Resolución número 04201.* (2019, febrero). *Aeronáutica Civil*.
- [12] *Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (Enmienda 6).* (2022, abril). *Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2091%20->

%20Reglas%20%20Generales%20de%20Vuelo%20y%20%20Operaci%C3%B3n.p  
df

- [13] *UAV Forecast*. (s. f.). UAV Forecast. <https://www.uavforecast.com/>
- [14] Universidad Autónoma Guerrero. (2018, abril). *PROCEDIMIENTO TEÓRICO-PRÁCTICO PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON EL USO DE DRONES*. researchgate. [https://www.researchgate.net/profile/Geovanny-Moyao/publication/353020207\\_PROCEDIMIENTO\\_TEORICO-PRACTICO\\_PARA\\_EL\\_LEVANTAMIENTO\\_TOPOGRAFICO\\_CON\\_EL\\_USO\\_DE\\_DRONES/links/60e47ed6299bf1ea9eeb7bdf/PROCEDIMIENTO-TEORICO-PRACTICO-PARA-EL-LEVANTAMIENTO-TOPOGRAFICO-CON-EL-USO-DE-DRONES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Geovanny-Moyao/publication/353020207_PROCEDIMIENTO_TEORICO-PRACTICO_PARA_EL_LEVANTAMIENTO_TOPOGRAFICO_CON_EL_USO_DE_DRONES/links/60e47ed6299bf1ea9eeb7bdf/PROCEDIMIENTO-TEORICO-PRACTICO-PARA-EL-LEVANTAMIENTO-TOPOGRAFICO-CON-EL-USO-DE-DRONES.pdf)
- [15] *Cloud*. (s. f.). Agisoft. <https://www.agisoft.com/features/cloud/>
- [16] *Proyecciones de población*. (s. f.). DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- [17] Muñoz, Fukuhara, A. T. H. (2016). *Mapeo y registro de artefactos en 3D utilizando Agisoft PhotoScan y Drone en el Proyecto Arqueológico Tlalancaleca, Puebla*. [https://www.kufs.ac.jp/ielak/pdf/kiyou16\\_06.pdf](https://www.kufs.ac.jp/ielak/pdf/kiyou16_06.pdf)
- [18] Perea, C. E., & Valiente, E. E. (2017). *Architectural Draughtsmanship: From Analog to Digital Narratives* (2018 ed.). Springer.
- [19] Sancho Gómez-Zurdo, R., Galán Martín, D., González-Rodrigo, B., Marchamalo Sacristán, M., & Martínez Marín, R. (2021). Aplicación de la fotogrametría con

drones al control de deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*, 73(561), e379. <https://doi.org/10.3989/ic.77867>

- [20] Lerma-Cobo, Fernando. (2021, enero). *Levantamiento fotogramétrico de Torre Benzalá a partir de RPAS/Dron*. UNIVERSIDAD DE JAÉN Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.  
[https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/16547/1/Lerma\\_Cobo\\_Fernando\\_TFG\\_Arq\\_ueolga.pdf](https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/16547/1/Lerma_Cobo_Fernando_TFG_Arq_ueolga.pdf)
- [21] Pacheco Prado, D. (2017). Drone in urban spaces: Study case in parks, gardens and built heritage of Cuenca. *Estoa*, 6(11), 159–168.  
<https://doi.org/10.18537/est.v006.n011.a12>
- [22] UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR. (2019, septiembre). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN 3D A PARTIR DE IMÁGENES CAPTURADAS POR DRONES*.  
[https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689090/ramos\\_howell\\_ignacio\\_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689090/ramos_howell_ignacio_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [23] *MANUAL AGISOFT METASHAPE y escalado del modelo 3D con Meshlab*. (2021). Panacea cooperative research. <https://skeleton-id.com/wp-content/uploads/2021/01/Manual-Agisoft-Metashape.pdf>
- [24] *ELABORACIÓN DE UN MODELO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DE IMÁGENES GEORREFERENCIADAS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA SEDE VILLAVICENCIO*. (2020).

[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/28536/1/2020\\_elaboraci%C3%B3n\\_modelo\\_%20tridimensional.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/28536/1/2020_elaboraci%C3%B3n_modelo_%20tridimensional.pdf)

[25] *Comparación de postproceso entre el software Pix4D y Agisoft Metashape de un levantamiento topográfico con RPAS*. (2020, diciembre). UNIVERSIDAD PERUANA UNION.

[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3566/Yort\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3566/Yort_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[26] *Tutorial for Beginners: 3D Model Reconstruction with Agisoft PhotoScan 1.4*. (2020).

Agisoft. [https://www.agisoft.com/pdf/PS\\_1.4\\_Tutorial%20\(BL\)%20-%203D%20Model%20Reconstruction.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/PS_1.4_Tutorial%20(BL)%20-%203D%20Model%20Reconstruction.pdf)

[27] Souto-Vidal, M. (s. f.). *Vista de Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito / Informes de la Construcción*. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo (España).

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4451/5153>

[28] *Guarda Il Rilievo fotogrammetrico con il Drone alla Diga di Ridracoli*. (s. f.). reports.

<https://ojs.mediageo.it/index.php/GEOmedia/article/view/1280/1165>

[29] Ridolfi E, Buffi G, Venturi S, Manciola P. Accuracy Analysis of a Dam Model from Drone Surveys. *Sensors*. 2017; 17(8):1777. <https://doi.org/10.3390/s17081777>

[30] Buffi, G., Manciola, P., Grassi, S., Barberini, M., & Gambi, A. (2017). Survey of the Ridracoli Dam: UAV–based photogrammetry and traditional topographic

- techniques in the inspection of vertical structures. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1562–1579. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1362039>
- [31] Khaloo, A., Lattanzi, D., Jachimowicz, A., & Devaney, C. (2018). Utilizing UAV and 3D Computer Vision for Visual Inspection of a Large Gravity Dam. *Frontiers in Built Environment*, 4. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00031>
- [32] Escobar Villanueva, J. R., Iglesias Martínez, L., & Pérez Montiel, J. I. (2019). DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points for Flood Estimations. *Sensors*, 19(14), 3205. <https://doi.org/10.3390/s19143205>
- [33] Nex, F., Remondino, F. UAV for 3D mapping applications: a review. *Appl Geomat* 6, 1–15 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- [34] Alouache, A., Yao, X., & Wu, Q. (2017). Creating Textured 3D Models from Image Collections using Open Source Software. *International Journal of Computer Applications*, 163(9), 14–19. <https://doi.org/10.5120/ijca2017913734>
- [35] Gutiérrez, J. P. J. (2020, 28 enero). RUA: El levantamiento fotogramétrico del patrimonio construido como herramienta de análisis y conocimiento: El caso del Castell de la Vall de Perputxent. RUA Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/101904>

# ANEXOS

## Anexo 1: Tablas y graficas de crecimiento poblacional (1985-2035) del Municipio de Chía, Cundinamarca

INCREMENTO POBLACIONAL MUNICIPIO DE CHÍA			
AÑO	CABECERA MUNICIPAL	CENTROS POBLADOS Y RURAL	TOTAL
1985	36446	19973	56419
1986	37153	19663	56816
1987	37820	19353	57173
1988	38494	19063	57557
1989	39086	18789	57875
1990	39648	18535	58183
1991	40264	18257	58521
1992	40894	18042	58936
1993	41508	17814	59322
1994	42351	17711	60062
1995	43270	17649	60919
1996	44223	17591	61814
1997	45284	17564	62848
1998	46083	17752	63835
1999	47313	17812	65125
2000	48624	17886	66510
2001	50034	17996	68030
2002	51530	18116	69646
2003	53131	18254	71385
2004	54828	18424	73252
2005	56642	18597	75239
2006	58693	18855	77548
2007	60943	19161	80104
2008	63436	19515	82951
2009	66184	19940	86124
2010	69212	20427	89639
2011	72500	20954	93454
2012	76072	21545	97617
2013	79923	22192	102115
2014	84085	22896	106981
2015	88592	23656	112248

2016	93590	24529	118119
2017	99101	25474	124575

Tabla 7. Incremento poblacional Municipio de Chía 1985-2017

Fuente: Preparada por los autores según [15]

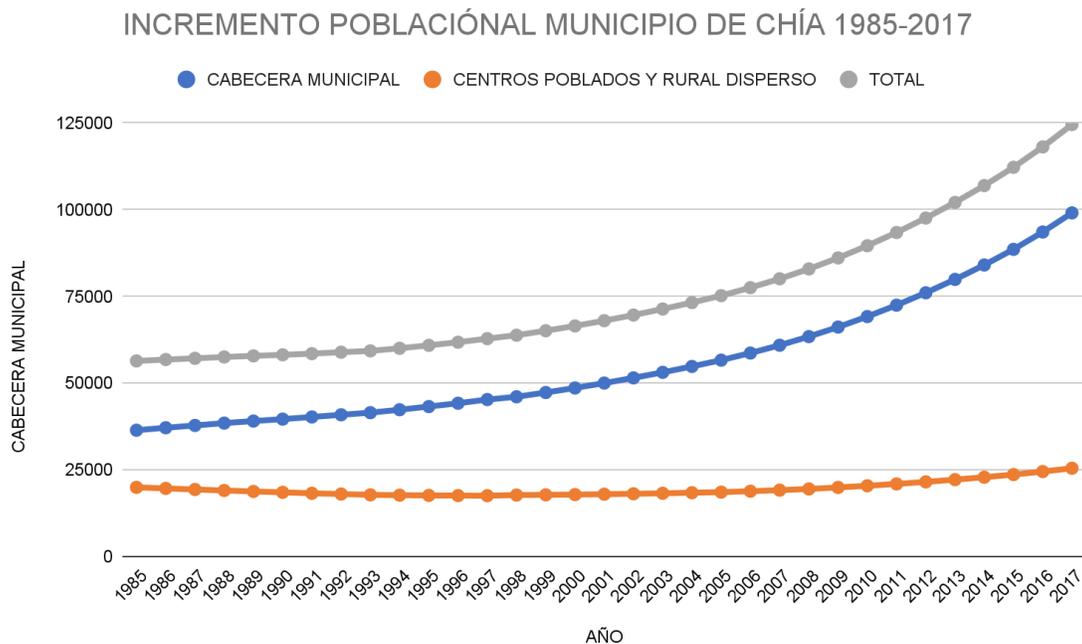


Figura 15. Incremento poblacional Municipio de Chía 1985-2017

Fuente: Preparada por los autores según [15]

INCREMENTO POBLACIONAL MUNICIPIO DE CHÍA			
AÑO	CABECERA MUNICIPAL	CENTROS POBLADOS Y RURAL	TOTAL
2018	105.509	26.672	132.181
2019	115.066	26.242	141.308
2020	124.309	25.261	149.570

2021	130.203	25.338	155.541
2022	135.041	25.394	160.435
2023	139.554	25.441	164.995
2024	144.299	25.527	169.826
2025	148.761	25.593	174.354
2026	152.952	25.658	178.610
2027	156.866	25.741	182.607
2028	160.462	25.843	186.305
2029	163.732	25.935	189.667
2030	166.688	26.026	192.714
2031	169.451	26.148	195.599
2032	172.170	26.239	198.409
2033	174.850	26.358	201.208
2034	177.490	26.449	203.939
2035	180.071	26.555	206.626

Tabla 8. Incremento poblacional previsto Municipio de Chía 2018-2035  
Fuente: Preparada por los autores según [15]

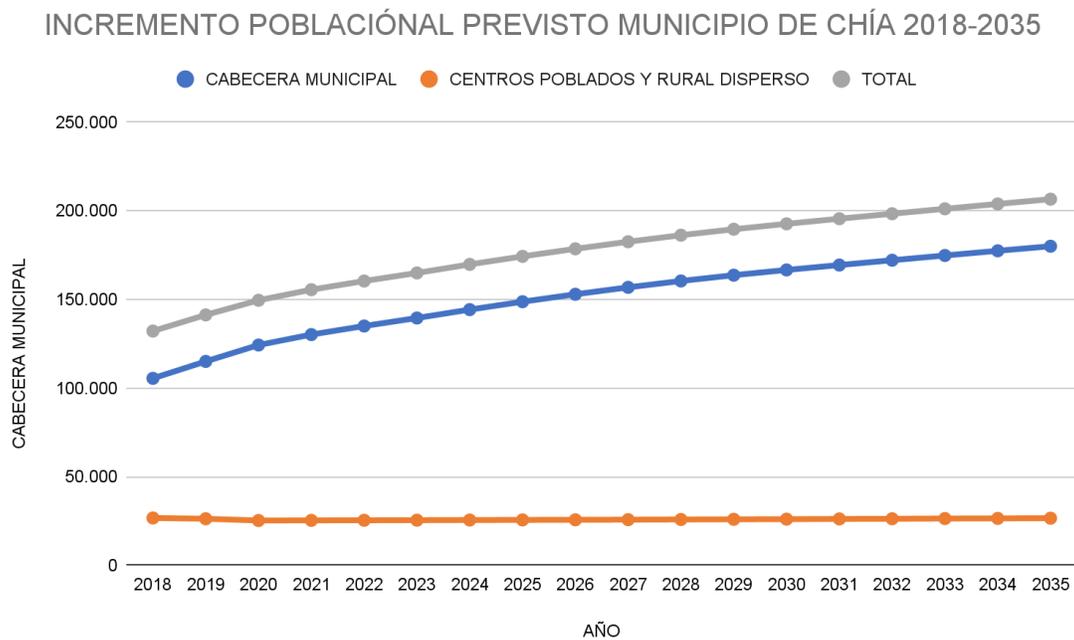


Figura 16. Incremento poblacional previsto Municipio de Chía 2018-2035  
Fuente: Preparada por los autores según [15]

