

# Modelo digital y fotogrametría a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Caso de estudio, entorno del río Tahuando en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura

## Digital modeling and photogrammetry through the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). Case study: Tahuando River surroundings in the city of Ibarra, Imbabura province

EÍDOS N°22  
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo  
ISSN: 1390-5007  
[revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos](http://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos)

<sup>1</sup>Francisco Javier Almeida Navarrete, <sup>2</sup>Jhonny Leonardo Alvarez Ochoa, <sup>3</sup>Francisco Sebastián Cevallos Gangotena

<sup>1</sup>Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad UTE, Quito, Ecuador, francisco.almeida@ute.edu.ec, ORCID:0000-0002-6971-8518,

<sup>2</sup>Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad UTE, Quito, Ecuador, jhonny.alvarez@ute.edu.ec, ORCID: 0000-0003-4470-7385,

<sup>3</sup>Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad UTE, Quito, Ecuador, francisco.cevallos@ute.edu.ec, ORCID: 0009-0007-9701-5944

### Resumen:

En la actualidad, el avance tecnológico ha aumentado a una velocidad vertiginosa, de manera que han sido diversos los campos beneficiados, entre ellos la ingeniería y la arquitectura, por consiguiente, el desarrollo de técnicas y herramientas que facilitan y aceleran el análisis, diagnóstico, planificación y propuesta sobre el territorio urbano o rural sobre el cual se pretende realizar cualquier tipo de intervención técnica. Los vehículos aéreos no tripulado (UAV), comúnmente conocidos como drones, se presentan como una alternativa interesante para llevar a cabo diversas actividades de campo como, por ejemplo, el levantamiento topográfico a través de la técnica fotogramétrica. El objetivo de la presente investigación procura describir las principales actividades necesarias para desarrollar un Modelo Digital de Terreno (MDT) del río Tahuando, localizado en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, como parte del proyecto externo de Vinculación con la Comunidad, planificado por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad UTE, denominado como "Proceso de planificación del Parque Lineal del río Tahuando". Para este modelo digital se utilizó un dron de última generación, en conjunto con una estación total, posteriormente fue necesario un procesamiento de datos para obtener una ortofoto georeferenciada, un modelo digital y curvas de nivel del terreno. El trabajo cumple con los parámetros de calidad de fotogrametría, se concluye que las nuevas técnicas y software permiten obtener curvas de nivel a cualquier intervalo y cota. Una vez finalizado el ejercicio de investigación se identificó que la metodología propuesta es perfectamente aplicable a procesos de planificación territorial y diseño urbano.

Palabras clave: dron; fotogrametría; modelo digital; modelación; terreno.

### Abstract:

Currently, technological advancement has increased at a dizzying pace, benefiting various fields, including engineering and architecture. Consequently, the development of techniques and tools that facilitate and expedite analysis, diagnosis, planning, and proposals regarding urban or rural territories for any type of technical intervention has emerged. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, present an interesting alternative for carrying out various field activities, such as topographic surveys using photogrammetric techniques. The objective of this research is to describe the main activities necessary to develop a Digital Terrain Model (DTM) of the Tahuando River, located in the city of Ibarra, Imbabura province, as part of an external community engagement project planned by the Faculty of Architecture and Urbanism at UTE University. This project is known as "PROCESS OF PLANNING THE TAHUANDO RIVER LINEAR PARK." For this digital model, a state-of-the-art drone, in conjunction with a total station, was used. Subsequently, data processing was required to obtain a georeferenced orthophoto, a digital model, and contour lines of the terrain. The work meets the quality parameters of photogrammetry, and it can be concluded that the new techniques and software allow obtaining contour lines at any interval and elevation. Once the research exercise was completed, it was identified that the proposed methodology is perfectly applicable to territorial planning processes and urban design.

Keywords: Digital model; Dron; Fotogrammetry; Modeling; Terrain.

## 1. ANTECEDENTES

Pensar en la crisis que atraviesan nuestros espacios públicos, debido a su desuso, falta de mobiliario urbano, así como a la movilidad humana condicionada y a la falta de apropiación, es parte de las consecuencias de no manejar un correcto criterio urbano arquitectónico para la implementación de proyectos que busquen mejorar la calidad de vida del usuario.

En la Facultad de Arquitectura de la UTE, basados en un requerimiento de ayuda directa del GAD de Ibarra, se consideró la participación de estudiantes y docentes dentro de un proyecto de vinculación externo denominado "Proceso de Planificación del Parque Lineal del río Tahuando dentro del Plan General de Infraestructura Verde de la Ciudad de Ibarra (PGIV)", mismo que busca dinamizar el sitio con intervenciones urbanas y arquitectónicas que atraigan a los visitantes y contribuyan al empoderamiento del espacio para su automantenimiento.

En la mira de la ejecución de este tipo de intervenciones urbanas, fue necesario el levantamiento topográfico y fotogramétrico de sitio para poder entender el sitio y continuar con un proceso de diseño condicionado a sus características físicas y anclado a la realidad para su futura implementación.

## 2. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los avances tecnológicos se han acelerado a una velocidad vertiginosa, por lo cual, diversas áreas se han beneficiado de dicha evolución y, por lo tanto, del desarrollo de máquinas, técnicas y herramientas que respaldan el trabajo de campo. La ingeniería y la arquitectura han sido dos campos de estudio donde se ha procurado aprovechar dicho avance tecnológico, específicamente en actividades como el levantamiento topográfico, la fotogrametría y la modelación digital, todas ellas obtenidas mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Con el uso de esta nueva tecnología, es posible crear modelos precisos y detallados del terreno y su entorno, lo que resulta de gran utilidad

en la planificación y gestión de proyectos urbanos, arquitectónicos y ambientales (Tacuri Espinoza & López Espinoza, 2017) (Orduna, De Candia y Raggio, 2019).

En la actualidad, la resolución de problemas técnicos a través de los UAV es cada vez más común ya que permiten obtener imágenes de alta resolución, las cuales pueden ser procesadas para generar ortofotos y topografía a detalle. En este sentido, es posible destacar la rapidez y precisión en la obtención de datos, la posibilidad de obtener información a diferentes escalas y la reducción de costos en comparación con otros métodos tradicionales. Además, es importante resaltar la capacidad del UAV para volar a diferentes alturas y obtener planos topográficos a diferentes escalas y con diversos intervalos en las curvas de nivel, lo cual lo convierte en una herramienta de gran utilidad para los profesionales y usuarios del campo de estudio en cuestión.

Al mismo tiempo, que las características mencionadas previamente, una de las mayores ventajas en el uso de UAV es la generación de Modelos Digitales de Superficie (MDS) y Modelos Digitales de Terreno (MDT), potenciando, por ejemplo, el acceso a zonas topográficamente complejas para un operador humano, permitiendo la generación de información detallada en zonas de difícil acceso, obteniendo resultados de calidad de forma más eficiente (Ma, 2018) (Pacheco, 2017) (Tacuri Espinoza & López Espinoza, 2017). Es relevante destacar que se entiende por MDT a una representación en formato digital de la distribución espacial de una variable cuantitativa continua en una determinada área del terreno, que es manejable a través de un Sistema de Información Geográfica (Bosque Sendra, 1994) (Pacheco, 2017).

Dichos avances en la fotografía aérea, además del desarrollo de softwares y programas informáticos, permiten que la fotografía, técnica muy utilizada durante décadas, se adapte a la era digital y facilite el trabajo de los especialistas. El propósito principal de dicha herramienta es la identificación de discontinuidades geomorfológicas como rupturas de pendiente, encajamientos fluviales y líneas de cresta, que se relacionan

con contactos litológicos o estructuras tectónicas. (Sánchez Serrano, Tejero López y Bergamín de la Viña, 1998).

Antes de aplicar dicha herramienta, es necesario realizar una serie de preparativos que incluyen la planificación del vuelo en la zona de estudio, el registro y ubicación de puntos de control, la ejecución del vuelo, el procesamiento de fotografías y la generación de los resultados (ortofotos, MDT, MDS, curvas de nivel), y, finalmente, la validación de los resultados obtenidos (Tacuri Espinoza y López Espinoza, 2017).

La planificación de vuelo es una etapa fundamental en el proceso de generación de modelos tridimensionales a partir de imágenes UAV; consiste en identificar y definir la zona de estudio, analizando su contexto natural y artificial, delimitando la superficie sobre la cual se realizará el vuelo, considera la variabilidad en altura medida en metros sobre el nivel del mar. Para la planificación y gestión de la misión de vuelo se deben tomar en cuenta diferentes aspectos como los waypoints, líneas de vuelo, velocidad, altitud, configuración del sensor y dirección(es) de vuelo (Del Boca) (Tacuri Espinoza y López Espinoza, 2017).

Es de gran importancia la ubicación y registro de los puntos de control, los cuales se definen como marcas referenciales colocadas en el terreno y cuyas coordenadas se determinan con precisión al utilizar un sistema de navegación global por satélite (GNSS) o GPS. Los puntos de control se utilizan en el procesamiento de la información recolectada, lo que proporciona una corrección en altura y georreferenciación precisa. Algunos de estos puntos se emplean para la calibración del modelo y otros para verificar los resultados obtenidos (Tacuri Espinoza y López Espinoza, 2017).

La ejecución de vuelo se realiza una vez cumplidos adecuadamente los dos pasos previos, sin olvidar que es necesario contar con algunos componentes adicionales para su correcta ejecución, estos son: radiocontrol con pantalla de supervisión de datos de vuelo, baterías adicionales con cargador para garantizar el tiempo de vuelo mínimo necesario,

manual de operaciones, protocolos de vuelo y estación de radio en tierra (Tacuri Espinoza y López Espinoza, 2017) (Del Río Santana, Gómez Cordoba, López Carrillo, Saenz Esqueda y Espinoza Fraire, 2020)

Es importante tomar en cuenta las condiciones meteorológicas y climáticas, antes y durante el vuelo, así como también contar con permisos y autorizaciones necesarias para la realización de vuelos de UAV en el espacio aéreo correspondiente. Durante el vuelo, se debe monitorear la trayectoria del UAV y la calidad de las imágenes obtenidas para garantizar la correcta captura de la información. Una vez finalizado el vuelo, se procede con la descarga de las imágenes para su posterior procesamiento.

El procesamiento de la información gráfica y la generación de resultados (ortofotos, MDT, MDS, curvas de nivel) se realiza una vez haya culminado el vuelo planificado, obteniendo la visualización de los puntos de control y su vinculación a través de un sistema de coordenadas. Con ello se realiza la orientación interna y externa basada en la teoría de la fotogrametría digital área, es decir, estableciendo un sistema de coordenadas objeto terreno, generando una nube de puntos a través de la técnica de triangulación irregular de la red de puntos filtrados, que permite la interpolación de la información tridimensional y la obtención de una superficie continua; finalmente, se generan las curvas de nivel a partir del MDT, utilizando un software especializado (Tacuri Espinoza y López Espinoza, 2017).

Una vez obtenidos los resultados, se procede con la validación de los datos, lo cual es un paso crucial para garantizar la calidad de la información generada. Aquí es muy importante verificar que los resultados cumplan con las normas y estándares definidos por el órgano rector correspondiente, en este caso el IGM en Ecuador.

También, se realizan pruebas de validación, comparando los valores obtenidos con valores de referencia, ya sea mediante mediciones en campo o a través de datos de otras fuentes confiables, como mapas o modelos digitales, previamente

existentes. La validación se realiza mediante la selección de puntos de control distribuidos en toda el área de estudio y su medición precisa, utilizando un sistema GNSS de alta precisión. Si los datos generados pasan la validación, se pueden considerar como confiables y precisos para su uso en la generación de modelos tridimensionales y mapas topográficos.

Utilizando la metodología descrita, es factible crear otros Modelos Digitales del Terreno, tales como mapas de pendientes, orientaciones de pendientes y cuencas de drenaje, entre otros. Además, es posible combinar la información altitudinal con otros tipos de mapas temáticos georreferenciados de interés o fuentes de información complementarias, tales como imágenes de satélite de diversa índole (Del Río-Santana, Espinoza-Fraire, Sáenz-Esqueda y Córtes-Martínez, 2019) (Sánchez Serrano, Tejero López y Bergamín de la Viña, 1998).

Con base en lo mencionado, el presente estudio tiene por objetivo central aplicar el método fotográfico en la creación de un modelo digital del terreno por medio de un UAV. El estudio se realizó en la ciudad de Ibarra, de Ecuador, como parte del proyecto de Vinculación con la Comunidad denominado "Proceso de Planificación del Parque Linela del Río Tahuendo dentro del Plan General de Infraestructura Verde de la Ciudad de Ibarra-Ecuador (PGIV)", procurando presentar los fundamentos

teóricos necesarios para comprender esta técnica, así como una descripción detallada de su proceso de aplicación, desde la planificación hasta la presentación de resultados.

### 3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio topográfico fue realizado en la zona este de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, dentro de la parroquia El Sagrario, a orillas del río Tahuendo cercana a "la Piedra Chapetona" localización turística del sitio, sus accesos pueden ser por la Av. 17 de Julio o por la Calle García Moreno (Figura 1).

El predio posee un área cercana a los 40 000 m<sup>2</sup>, y colinda por el costado norte y sur con el río Tahuendo, por el costado oriental y occidente con la Avenida 17 de Julio, tiene como referencia del sector a "La Piedra Chapetona".

El estudio toma en cuenta el borde de las vías y los bordillos, perímetros de construcciones existentes, zonas duras, zonas verdes, para poder generar con precisión las cotas de nivel y de esta forma obtener un acertado levantamiento topográfico.

### 4. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en el vuelo de un dron, llegando incluso a definir la idoneidad de su ejecución. Por ejemplo:

El viento fuerte puede dificultar el control y afectar la estabilidad en el aire del equipo, ráfagas repentinas podrían causar desviaciones en el vuelo.

La lluvia y otros tipos de precipitación, como el granizo, pueden afectar los componentes electrónicos y el funcionamiento del dron; las gotas de agua en la lente de la cámara pueden bajar la calidad de las imágenes o videos capturados.

Las temperaturas extremadamente altas o bajas pueden influir en el rendimiento del equipo. En condiciones de frío intenso, la duración de la batería puede disminuir significativamente, mientras que el calor

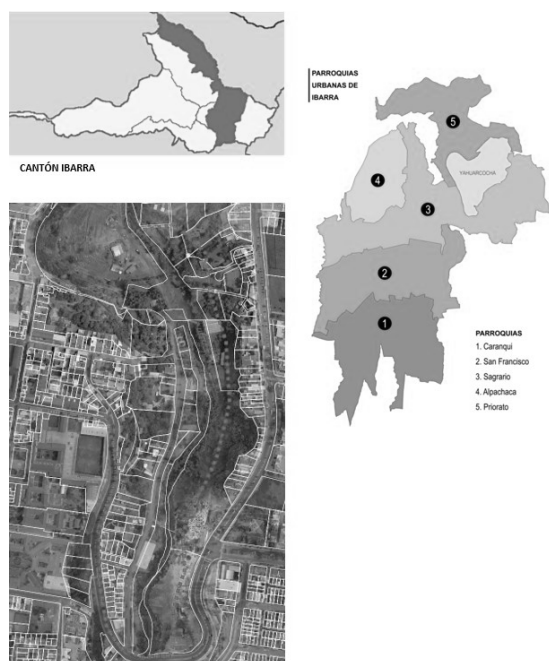


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio  
Fuente: Universidad UTE

excesivo puede afectar el funcionamiento de componentes internos y reducir su vida útil.

Las condiciones atmosféricas adversas como las tormentas eléctricas o la niebla densa, pueden representar un riesgo para el vuelo de un dron. La presencia de rayos en una tormenta eléctrica podría dañar el aparato si lo alcanza, y la niebla densa puede dificultar la visibilidad y hacer que sea difícil controlar y orientar de manera segura el equipo.

La altitud y presión atmosférica: A medida que aumenta la altitud, la presión atmosférica disminuye y el aire se vuelve menos denso afectando el rendimiento del dron.

Bajo esta premisa fue importante analizar las condiciones del sitio de intervención. Así la ciudad de Ibarra, presenta una temporada lluviosa con días nublados y una temporada seca con cielos parcialmente nublados. El mes más frío es julio, mientras que enero es el mes más cálido. No obstante, la ciudad cuenta con un clima agradable durante todo el año. (Weather Spark, 2023).

El clima en el cantón Ibarra registra una temperatura media de 18.4 °C, con temperaturas máximas de 26.2 °C y mínimas de 5.9 °C (Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra, 2021), esto surge debido a la configuración geográfica del sitio, identificando áreas con mayor altura cercanas al volcán Imbabura con temperaturas entre los 6 °C a 12 °C y las zonas más bajas llegando a afluentes como el río Tahuando que oscilan los 20 °C a los 25 °C (Figura 2).

En cuanto a la velocidad del viento, se registra un promedio máximo de 7 m/s y un promedio mínimo de 3.5 m/s. En el casco urbano, las precipitaciones oscilan entre los 0 mm y los 1250 mm, y una humedad relativa de 68 % (Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra, 2021).

Una vez analizadas las condiciones climáticas el trabajo pudo ser planificado y ejecutado en función de ellas para evitar contratiempos y dificultades no deseadas.

## 5. TRABAJO DE CAMPO

Es la fase fundamental para el control topográfico, en el cual se recolectaron datos sobre el lugar. Para ello, se usó un método topográfico directo para el levantamiento de puntos de control utilizando una estación total Stonex R25 y levantamientos visuales con un método indirecto basado en recorridos topográficos previos, con el fin de obtener una vista panorámica de toda el área de levantamiento, evaluar las posibles dificultades para tomar las decisiones correctas para mapear y mejorar la instrumentación requerida para la ruta del dron.

Para realizar el levantamiento topográfico, se utilizaron los siguientes equipos y materiales: Dron Phantom 4 (figura 3A) en la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas del dron utilizado, Estación total Stonex R25 (figura 3B), trípode pinza, prisma topográfico, bastón para prisma, flexómetro, estacas, costales de color blanco.

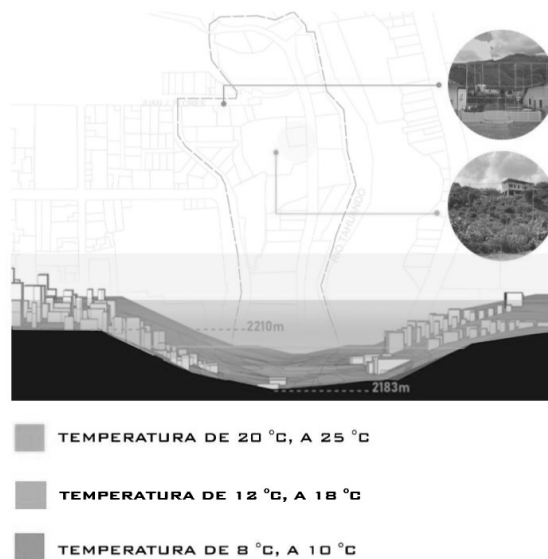


Figura 2: Condición climática de la zona  
Fuente: Universidad UTE



Dentro de la fase de levantamiento topográfico con estación total se obtuvieron datos del terreno mediante mapas topográficos, que son representaciones a escala que describen diferentes zonas del territorio en las que se realizan

los levantamientos, brindando una comprensión más completa del terreno y sus particularidades.

Los principales factores de medición del instrumento son la precisión, la eficiencia y la calidad.

Para los puntos de control (BMs) utilizamos coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) que es un sistema de coordenadas utilizado para ubicar de forma precisa puntos en la Tierra. La Tierra se divide en 60 zonas horizontales en este sistema, cada una de las cuales tiene 6 grados de ancho en longitud. Cada zona se identifica por una letra, de la "C" a la "X", y se extiende desde el ecuador hasta los polos.

Dentro de cada zona UTM, se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas bidimensional para describir la ubicación de un punto en la Tierra. Estas coordenadas se denominan "norte" y "este", y se miden en metros a partir de una posición de referencia en cada zona, llamada "origen". El origen se define como el punto en la zona UTM donde los valores de "este" y "norte" son iguales a 500.000 metros. En la tabla N.º 2 se muestra un ejemplo de los datos que se obtuvieron con la estación total, la columna "RTH" representa la asignación del punto de control, la columna "N", representa la coordenada Norte, la columna "E" representa la coordenada Este y la Columna "ELEVACIÓN" representa la cota de altura del punto tomado en m.s.n.m.

Los puntos de control fueron ubicados a distancias apropiadas y fueron señalados con costales numerados del 1 al 14 (Figura 4), los números fueron ubicados en el centro de los costales con un tamaño considerable para que se pueda visualizar en cada imagen desde arriba.

Se tomaron los datos de los puntos referenciales de control, este es el paso más importante del trabajo en campo, ya que nos servirán para correlacionar las imágenes aéreas con el terreno real.

En la tabla 3, se detalla los BMs del entorno del río Tahuando - Ibarra, el cual se obtuvieron 14 puntos topográficos con Estación Total.

PHANTOM 4 – Especificaciones	
Peso (Incluido batería)	1380 g
Máxima vel. de subida	6 m/s (Sport)
Máxima vel. de descenso	4 m/s (Sport)
Velocidad máxima	20 m/s (Modo Sport)
Máxima altitud sobre el nivel del mar	19685 feet (6000 m) (Limitado por software a 500m sobre el punto de despegue)
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 28 minutos
Rango de temperatura de funcionamiento	32° to 104° F (0° to 40° C)
Sistemas de satélites	GPS / GLONASS
Rango de velocidad	≤10 m/s (2 m sobre el suelo)
Rango de altitud	0 - 33 feet (0 - 10 m)
Rango de operación	0 - 33 feet (0 - 10 m)
Entorno operativo	Las superficies con un patrón claro y una iluminación adecuada (lux > 15)
Cámara	
Sensor	1/2.3" Píxeles efectivos:12 M
Lente	FOV (Campo de visión) 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8 focus at ∞
Rango ISO	100-3200 (vídeo) 100-1600 (Photo)
Velocidad del obturador electrónico	8 s to 1/8000 s
Max. Tamaño de la imagen	4000×3000
Foto	JPEG, DNG (RAW)
Vídeo	MP4 / MOV (MPEG – 4 AVC / H.264)
Tarjetas SD compatibles	Micro SD, Max capacidad: 64GB. Class 10 or UHS-1 calificación requerida
Control remoto	
Max. Distancia de transmisión	FCC Compliant: 3.1 mi ( 5 km ); CE Compliant: 2.2 mi ( 3.5 km ) (espejada, libre de interferencias )
Temperatura de funcionamiento	32° to 104° F ( 0° to 40° C )
Batería	6000 mAh LiPo 2S

Tabla 1. Especificaciones técnicas Phantom 4  
Fuente: Stonex

RTH	N°	E°	ELEVACIÓN
Punto 1			
1	10038623.55	821588.304	2265.500

Tabla 2 - Datos coordenadas UTM  
Fuente: Universidad UTE



Figura 4: Puntos de control en campo  
Fuente: Propia

## 6. PLANEACIÓN DEL VUELO Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

En esta fase se determina el área de interés y los parámetros de vuelo para la adquisición de imágenes. En vuelo, en modo automático, la planificación comienza con la determinación de la zona de interés, que suele dibujarse sobre un mapa base georreferenciado y mediante un software de control (DJI PILOT). Una vez definida la zona de interés, se deben ingresar los parámetros de vuelo y en base a esta información el software calcula automáticamente la trayectoria de vuelo (Escalante Torrado, Cáceres Jiménez, & Porras Díaz, 2016). Los parámetros de vuelo requeridos son: altura de vuelo o GSD (Ground Sampling Distance) y porcentaje de superposición entre imágenes (longitudinal y horizontal). En este caso, el porcentaje de superposición es del 70% para la pieza requerida. Cuando la altitud de vuelo está relacionada con GSD (en cm/píxel), la altitud alta da como resultado GSD más altos (resolución más baja), mientras que la altitud de vuelo más baja da como resultado GSD más bajos (resolución más alta). Usaremos una altura de vuelo baja y un alto porcentaje de superposición para crear nuestro modelo 3D.

Para la planeación del vuelo es esencial considerar la duración de la batería del dron, debido a que la duración de esta, es aproximadamente 25 minutos, por lo que se condiciona a superficies no tan extensas por cada vuelo. En el caso de estudio, se utilizó la batería original del equipo que sirvió para abarcar la superficie planeada.

### *Adquisición de imágenes*

Tras la fase de planificación, el siguiente paso es el vuelo de adquisición de imágenes, que comienza con el lanzamiento autónomo del dron. A través y sistema de navegación, el UAV busca de forma autónoma el punto de inicio de la ruta de vuelo programada y comienza a capturar secuencialmente las imágenes según los parámetros establecidos. Al mismo tiempo, la estación de control en tierra monitorea el estado del vuelo y de la plataforma utilizando información como, el tiempo de vuelo, la energía de la batería, la temperatura y la intensidad de la señal de comunicación. Los parámetros de vuelo

también se pueden ajustar en tiempo real. Una característica que viene con el uso de drones para la adquisición de imágenes es asociar cada imagen con los valores de posición y orientación que se registraron en el sistema GPS en el momento de la adquisición.

## 7. LEVANTAMIENTO IMÁGENES CON DRON.

Esta técnica permite comprender las características del terreno en función de la información de múltiples imágenes. Captura un mayor número de puntos para crear las planimetrías. La cámara del dron phantom 4 es una cámara de última generación, la cual brinda información mucho más clara que con técnicas tradicionales. Por otra parte, la información es mucho más completa en cuanto a color de las fotografías, mayor resolución y realismo del terreno.

RTH	N°	E°	ELEVACION
Punto 1			
1	10038623.55	821588.304	2265.500
Punto 2			
2	10038684.82	821576.372	2265.749
Punto 3			
3	10038602.76	821531.852	2270.747
Punto 4			
4	10038659.02	821520.157	2273.375
Punto 5			
5	10038767.57	821525.359	2266.514
Punto 6			
6	10038721.28	821556.916	2267.781
Punto 7			
7	10038659.34	821558.139	2269.776
Punto 8			
8	10038533.82	821509.432	2266.438
Punto 9			
9	10038491.15	821511.163	2267.483
Punto 10			
10	10038435.29	821517.678	2268.551
Punto 11			
11	10038391.67	821495.343	2270.567
Punto 12			
12	10038419.47	821494.934	2269.493
Punto 13			
13	10038249.11	821476.144	2281.619
Punto 14			
14	10038403.12	821513.038	2270.311

Tabla 3 – Ubicación de BMs en coordenadas UTM  
Fuente: Propia

Para asegurar una adecuada cobertura fotográfica de levantamiento topográfico del área es necesario planificar un programa de vuelo sobre el área de interés para ello se deben tener en cuenta las condiciones atmosféricas locales las características topográficas las limitaciones territoriales la escala del mapa que se busca la precisión requerida etc.

Con esta información se pueden determinar parámetros de vuelo importantes como la altitud de vuelo la distancia entre líneas la superposición de imágenes la velocidad etc.

Se optó por el vuelo de dron de manera automática una vez programado el recorrido. Este fue enviado desde un punto central del mapa a levantar para posteriormente capturar las imágenes. En la Imagen N.º 4, se encuentra el recorrido del vuelo programado, el dron recorrió una distancia de 3517 m, el cual represento 12 minutos y 10 segundos en el aire, se tomaron 178 fotografías de alta calidad y cubrió un área de 11.8 hectareas.

Las imágenes aéreas de alta resolución obtenidas desde el Dron fueron herramientas útiles para obtener un relieve a gran detalle. Se capturaron 178



Figura 5. Definición de la región de interés  
Fuente: DJI PILOT App

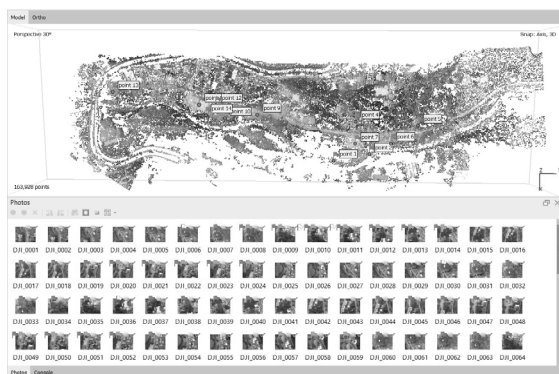


Figura 6: Proceso de alineación de imágenes  
Fuente: Propia

fotografías de alta precisión. Las imágenes obtenidas, pasaran por un proceso computarizado mediante el software de fotogrametría Agisoft Metashape para procesarlas y posteriormente obtener la información requerida.

## 8. PROCESO FOTOMETRICO CON METHASAPE

Agisoft Metashape es un software que realiza el procesamiento fotométrico de imágenes y genera datos espaciales 3D, permite un procesamiento muy rápido, proporcionando al mismo tiempo resultados precisos, el programa es capaz de procesar miles de fotos, este software tiene un proyecto lineal basado en flujo de trabajo "Workflow" que es intuitivo y puede ser fácilmente dominado por lo que el usuario tiene control completo sobre la precisión de los resultados, con un informe detallado que se genera al final del procesamiento (Calderón Aguirre, 2021).

Una vez que la información se ha recopilado, es necesario procesar los datos con el fin de obtener un producto para su análisis, el trabajo desarrollado en campo con los denominados puntos de control son claves para la alineación de las imágenes. Los puntos antes mencionados deben cumplir con el principio de marco flotante, esto permite que exista paralaje entre las fotografías, generando zonas homogéneas denominadas áreas de recubrimiento, creando una vista estereoscópica. De este modo la generación de nube de puntos, ortomosaico y modelo digital del terreno permiten el análisis del terreno.

### *Alineación y filtración*

La información recopilada debe filtrarse con un excelente estándar de calidad. Este conjunto de imágenes consiste en una serie de imágenes del terreno que deben estar bien iluminadas y evitar las sombras tanto como sea posible. Las colecciones de fotos se agregan al panel de fotos de Agisoft Metashape.

Se debe ajustar las fotos en el menú contextual del flujo de trabajo para dejar la configuración de ajuste de fotos del

conjunto de datos como predeterminada y continuar con el proceso de ajuste (Figura 6). Cuando se completa el procedimiento, se obtiene una reconstrucción del terreno de 360 grados.

### Nube de puntos densa

Se limpia los puntos en el escenario hasta obtener un objeto visible. En el menú contextual del flujo de trabajo, se crea una nube densa de objetos 3D (Figura 7), este paso crea un mapa de profundidad y una nube de puntos densa.

Se establece el sistema de coordenadas referente a la ubicación del terreno para este caso el sistema es WGS 84 / UTM zona 17 S. (Figura 8)

### Ubicación de Puntos de Control

En las fotografías alineadas y depuradas en su máxima calidad, se ubican los puntos de referencia obtenidos en campo. Se buscan aquellas fotografías donde aparecen los costales numerados del 1 al 14 y se añade una marca con su número respectivo. Una vez que se marca el punto de control en la fotografía el programa añade una bandera verde, este proceso se repite con todas las fotografías (Figura 9).

### Construcción de malla 3d de terreno

Se debe hacer un clic en crear malla en el menú contextual del flujo de trabajo para abrir un cuadro de diálogo en el que configura la calidad y el número de escalas de polígono para la malla. Este proceso genera una malla poligonal del objeto 3D y tarda varios minutos en crearse.

Una vez obtenida la malla poligonal, se limpian las caras poligonales del objeto hasta conseguir el resultado deseado. (Figura 10).

### Texturización, clasificación y asignación

El siguiente paso es generar la textura del modelo, se debe hacer un clic en Generar textura en el menú contextual del flujo de trabajo para abrir un cuadro de diálogo con el tipo de textura, la ubicación de los datos, el modo de mapa, el modo de fusión y el tamaño de la textura.

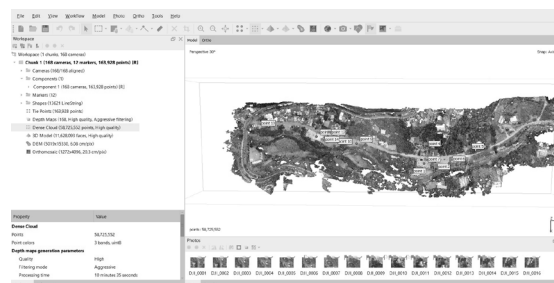


Figura 7: Construcción de la nube de puntos densa  
Fuente: Propia

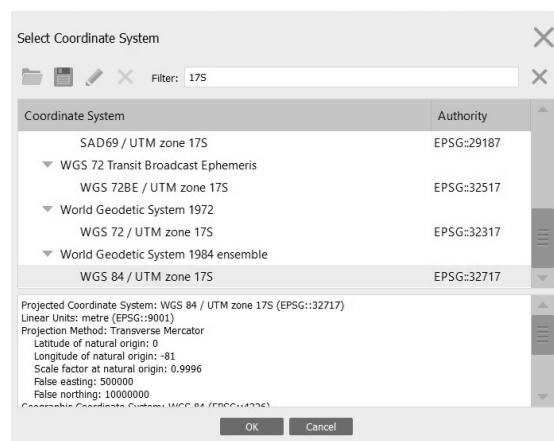


Figura 8: Sistema de coordenadas WGS 84/UTM zona 17S  
Fuente: Propia

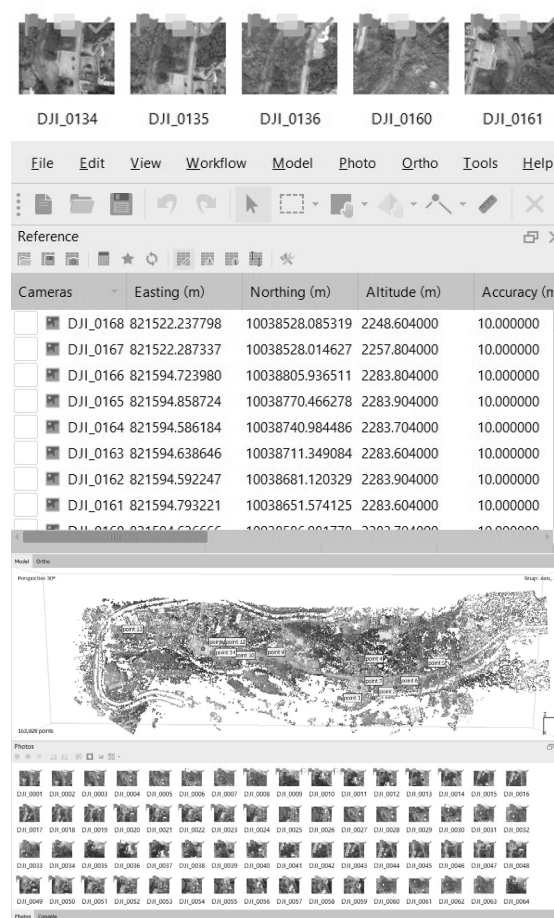


Figura 9: Referencia de los puntos de control en el software  
Fuente: Propia

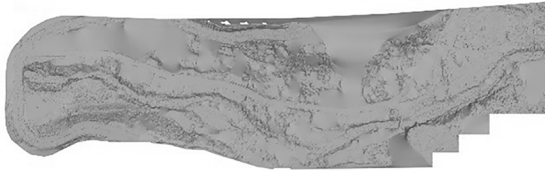


Figura 10. Construcción de malla 3D de terreno  
Fuente: Propia



Figura 11. Construcción de la malla texturizada  
Fuente: Propia

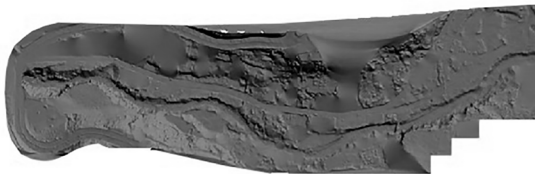


Figura 12. Construcción del Modelo Digital de Elevaciones  
Fuente: Propia



Figura 13. Generación de Ortomosaico  
Fuente: Propia

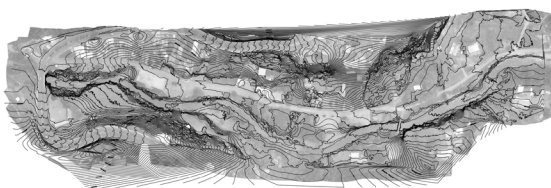


Figura 14. Generación de curvas de nivel del terreno  
Fuente: Propia

En la nube densa de puntos se asignan categorías dependiendo a los elementos que se quieran clasificar, de color blanco se clasificaran aquellos elementos como vegetación, edificaciones, vehículos, arbustos y arboles de gran altura que posteriormente serán suprimidos, y en color café se clasificara el suelo que posteriormente nos servirán para crear las curvas de nivel. Con esta clasificación obtendremos el modelo digital de elevaciones con mayor precisión. Con el modelado actualizado y la clasificación establecida se procede a generar la malla texturizada (Figura 11).

### *Modelo digital de elevaciones*

El modelado de elevación digital es el paso final en el procesamiento de imágenes de drones o fotogrametría e implica generar un modelo de superficie o elevación digital (DEM) y capturar un ortomosaico de la escena. Para generar estos modelos, las nubes de puntos deben ser trianguladas y rasterizadas. Una estrategia muy común es la triangulación de Delaunay, que genera una red irregular triangulada (TIN) a partir de la cual se interpolan valores de altura para generar un archivo (Gallo Lancheros, Cáceres Jiménez, & Porras Díaz, 2014). La triangulación de Delaunay es de gran importancia en geometría computacional, especialmente en gráficos 3D por computadora. Esta estrategia también se utiliza para reconstruir superficies a partir de nubes de puntos adquiridas por drones. (Figura 12)

### *Ortofotografía*

El ortomosaico corrige cada imagen en función de un modelo de elevación que elimina las distorsiones relacionadas con el terreno. Este proceso implica proyectar cada píxel de la imagen en un modelo de elevación para determinar un valor de elevación que se utiliza para re proyectar la nueva ubicación del píxel en la imagen.

La proyección y reproyección de los píxeles de la imagen se realiza mediante ecuaciones colineales (Escalante Torrado, Cáceres Jiménez, & Porras Díaz, 2016). Finalmente, todas las imágenes corregidas se unen formando un mosaico. (Figura 13).

Gracias al programa Metashape se obtuvo las curvas de nivel las cuales nos permiten trabajar con el desarrollo del proyecto propuesto (Figura 14).

### 9. CONCLUSIONES

La realización de salidas de campo es esencial para conocer y comprender de mejor manera la riqueza cultural y natural que posee la zona de estudio, explorando los recursos naturales y comprendiendo a profundidad la dinámica del paisaje, lo que es fundamental para la planificación del territorio y su gestión sostenible, aspecto de suma importancia al realizar un trabajo de análisis y diagnóstico sobre un territorio específico, obteniendo como resultado, entre otros aspectos, las características topográficas de la zona de intervención.

La precisión es un aspecto crucial en la toma de fotografías aéreas, por lo que es importante utilizar equipos calibrados para garantizar que los datos recopilados sean precisos y confiables. Este estudio ha evidenciado que el uso de dichos equipos resulta fundamental para obtener fotografías aéreas de alta calidad que permitan la creación de modelos digitales del terreno y otros análisis topográficos precisos, por lo tanto, se recomienda que los profesionales que trabajan en el campo, realizando levantamientos topográficos, utilicen equipos calibrados y sigan los procedimientos adecuados, garantizando así la calidad de los datos recopilados.

La fotogrametría y la creación de modelos digitales del terreno se han consolidado como herramientas imprescindibles para el análisis y planificación de proyectos en zonas urbanas y rurales. En este estudio, se empleó un dron y una estación total para obtener un Modelo Digital de Terreno del río Tahuando, ubicado en la ciudad de Ibarra. Los resultados obtenidos demostraron que la fotogrametría es una técnica efectiva para obtener información precisa del terreno, lo que permite la creación de modelos digitales de alta calidad y la generación de curvas de nivel con cualquier intervalo y cota. Estos

datos son esenciales para la planificación de proyectos de infraestructura verde, planificación urbana y territorial, así como para la construcción de propuestas en beneficio directo de la colectividad, como es el caso del Parque Lineal del Río Tahuando.

Por último, es fundamental comprender que todo tipo de diseño urbano y arquitectónico debe tomar en consideración las condicionantes de sitio y priorizar las necesidades del usuario sobre cualquier tipo de extravagancia arquitectónica o beneficio personal del autor. Para lograr esto, es crucial manejar correctamente el terreno y su contexto, y el manejo de la herramienta (UAV) para el levantamiento de información resulta óptima, y por sobre todo considerar las dinámicas sociales, la movilidad y la forma en que las personas se apropiarán del espacio, dará lugar a proyectos acertados. Un diseño bien concebido, que tome en consideración el sitio donde se implanta, e integre a la población, será exitoso y dará vida al espacio público, de lo contrario, el espacio caerá en desuso y será olvidado. La mejoría de la calidad de vida será el resultado de una planificación acertada por parte del diseñador y el compromiso de la comunidad en su uso, conservación y mantenimiento.

### 10. REFERENCIAS

Bosque Sendra, J. (1994). Sistemas de información geográfica. *Estudios Geográficos*.

Calderón Aguirre, S. I. (2021). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA. *creación de los modelos 3d dirigido a proyectos de realidad aumentada para ecommerce*. ECUADOR.

Del Boca, J. (n.d.). Levantamientos topográficos con drones aplicables a tareas de Arquitectura y Urbanismo. *tecYt*.

Del Río Santana, O., Gómez Cordoba, F., López Carrillo, N., Saenz Esqueda, J., & Espinoza Fraire, A. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*.

Del Río-Santana, O., Espinoza-Fraire, T., Sáenz-Esqueda, A., & Córtes-Martínez, F. (2019). Levantamientos Topográficos con Drones. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*.

Escalante Torrado, J. O., Cáceres Jiménez, J. J., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación. *Revista Tecnura*, 20(50), 119-140. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a09>

Gallo Lancheros, E. O., Cáceres Jiménez, J. J., & Porras Díaz, H. (2014). Modelos urbanos tridimensionales generados a partir de nubes de puntos de un escáner láser terrestre. *Revista Tecnura*, 18(41). doi:<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.3.a10>

Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra. (2021). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Ibarra*. PDOT, Gobierno Autónomo Descentralizado de San Miguel de Ibarra, Ibarra.

Ma, W. (2018). Tesis de Master, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA. *Aplicación de los UAV convencionales para la identificación y clasificación de los espacios verdes densos. Estudio de caso de la Parc Turó-Barcelona*. Barcelona, España.

Orduna, M., De Candia, C., & Raggio, N. (2019). USO DE IMÁGENES DE DRONES PARA EL ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA MOVILIDAD URBANA PEATONAL. Si+ *Imágenes, Prácticas de Investigación y cultura visual*.

Pacheco, D. (2017). Drones en espacios urbanos: Caso de estudio en parques, jardines y patrimonio edificado de Cuenca. *Estoa*, 159-168.

Rossiter, D., & Rodríguez, M. (2011). Construcción de modelos digitales de terreno para la evaluación de tierras. *Venesuelos*, 37-44.

Sánchez Serrano, F., Tejero López, R., & Bergamín de la Viña, J. (1998). ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DEL RELIEVE A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO. *Revista de la Sociedad Geológica de España*.

Tacuri Espinoza, E., & López Espinoza, M. (2017). USO DE IMÁGENES DE RPAS PARA GENERACIÓN DE TOPOGRAFÍA A DETALLE. *Revista GEOESPACIAL*, 32 - 42.

Weather Spark. (2023, Abril 12). El clima en Ibarra, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador). From <https://es.weatherspark.com/y/20035/Clima-promedio-en-Ibarra-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>