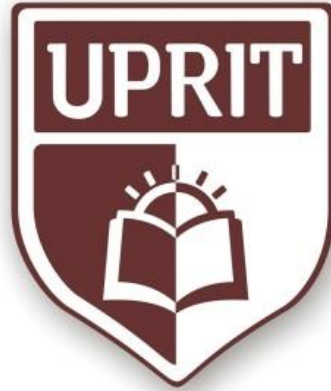


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON  
DRONE (DJI Phantom 4 pro) Y ESTACION TOTAL, QUEBRADA  
SEÑOR DE QUINUAPATA DEL DISTRITO DE AYACUCHO, PERÚ  
2018**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**MAK ROBERT AYALA VALDIVIA**

**ASESOR:**

**MG. ING. ENRIQUE MANUEL DURAND BAZAN**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2018**

**TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON DRONE  
(DJI Phantom 4 pro) Y ESTACION TOTAL, QUEBRADA SEÑOR DE  
QUINUAPATA DEL DISTRITO DE AYACUCHO PERÚ 2018**

**AUTOR:**

**Bach. MAK ROBERT AYALA VALDIVIA**

**MIEMBROS DEL JURADO**

---

**PRESIDENTE**

---

**SECRETARIO**

---

**VOCAL**

## **DEDICATORIA**

A dios JEHOVÁ el todo poderoso a quien suplico por tu bendición y agradezco por todo lo que me das en la vida.

Con todo mi amor y cariño a ti madre mía, quien JEHOVÁ por medio tuyo me dio la vida, siempre me acompañas y estas muy pendiente de mí.

Para mi familia, mi esposa e hijos que son el motor y la razón para luchar en esta vida.

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco en primer lugar a ser creador del universo Dios todo poderoso JEHOVÁ.

Agradezco a mi amadísima madre quien estuvo desde siempre conmigo y dando todos los motivos y alientos del mundo para poder seguir adelante

Agradezco a mi hogar, mi esposa Bertha, mis hijos Joshua, Valery y Lennard, quienes son la razón de mi vida y el avanzar hacia adelante a pesar de las dificultades.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.    Realidad problemática.....	1
1.2.    Formulación del problema.....	2
<b>1.2.1.    Problema general.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2.    Problemas específicos.....</b>	<b>2</b>
1.3.    Justificación.....	2
1.4.    Objetivos.....	3
<b>1.4.1.    Objetivo General.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2.    Objetivos Específicos.....</b>	<b>3</b>
1.5.    Línea de Investigación:.....	3
1.6.    Alcances, Limitaciones y Viabilidad de la Investigación.....	4
<b>1.6.1.    Alcances:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.2.    Limitaciones.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6.3.    Viabilidad.....</b>	<b>4</b>
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.    Antecedentes.....	5
<b>2.1.1.    Antecedentes históricos.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2.    Antecedentes internacionales.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.3.    Antecedentes nacionales.....</b>	<b>7</b>
2.2.    Bases Teóricas.....	8
<b>2.2.1.    Topografía.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2.    Fotogrametría.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.3.    Vehículos aéreos no tripulados.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.4.    Integración tecnológica.....</b>	<b>46</b>
2.3.    Bases Normativas:.....	54
2.4.    Definición de Términos Básicos:.....	54
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	58
3.1.    Planteamiento de la hipótesis.....	58
<b>3.1.1.    Hipótesis general.....</b>	<b>58</b>
3.2.    Tipo y Diseño de la Investigación.....	58
<b>3.2.1.    Tipo De Acuerdo al Fin que persigue.....</b>	<b>58</b>

<b>3.2.2.</b>	<b>Tipo de acuerdo al diseño.</b>	58
<b>3.2.3.</b>	<b>Diseño de la Investigación.</b>	58
3.3.	Definición de Variables.	59
3.4.	Operacionalización de variables.	59
3.5.	Población y Muestra.	60
<b>3.5.1.</b>	<b>Población.</b>	60
<b>3.5.2.</b>	<b>Muestra.</b>	60
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos.	60
<b>3.6.1.</b>	<b>Técnicas.</b>	60
<b>3.6.2.</b>	<b>Instrumentos.</b>	60
<b>3.6.3.</b>	<b>Para recolección de datos.</b>	60
<b>3.6.4.</b>	<b>Para procesar datos.</b>	61
CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE APLICACIÓN PROFESIONAL		63
CAPÍTULO 5. RESULTADOS		64
5.1.	Precisión.	64
5.2.	Exactitud.	65
5.3.	Resultados de tiempo utilizados en campo.	66
5.4.	Resultados de tiempo empleado en el procesamiento.	67
5.5.	Resultado de la variable costo en soles.	67
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		68
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES		69
CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES.		70
REFERENCIAS.		71
ANEXOS 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.		74
ANEXOS 2. RELACION DE BMs DEL PRESENTE ESTUDIO		75
ANEXOS 3. PROCESO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL.		76
ANEXOS 4. PANEL FOTOGRAFICO.		81
ANEXOS 5. COSTOS COMPARATIVOS.		82
PLANOS		84

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Fotogrametría Terrestre.....	17
Figura 2. Fotogrametría Aérea.....	18
Figura 3. Fotogrametría Espacial.....	19
Figura 4. Esquema de Proceso para la Obtención de Datos.....	23
Figura 5. Composición de una imagen digital. ....	28
Figura 6. Representación del GSD en el terreno.....	29
Figura 7. Resolución espacial de una fotografía aérea según el tamaño del pixel.....	30
Figura 8. Profundidad de color. ....	31
Figura 9. Ejemplo de drones. ....	31
Figura 10. Principales tipos de aeronaves.....	33
Figura 11. Tipos de dron. ....	33
Figura 12. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo. ....	35
Figura 13. Trimble UX5 .....	37
Figura 14. UAV DJI Phantom 4 pro .....	39
Figura 15. Sistemas de navegación (UAS) .....	44
Figura 16. Ventaja de las cámaras lineales con respecto a las matriciales.....	50
Figura 17. Tipos de cámara soportados por Pix4D.....	53
Figura 18. Gráfico estadístico de T student pareada o emparejadas .....	61
Figura 19. Variación en porcentaje de costos entre ambos equipos. ....	67
Figura 20. Determinación de zona total de vuelo. ....	77
Figura 21. Determinación de recorrido de vuelo .....	77
Figura 22. Organigrama de proceso de datos.....	78
Figura 23. Proyección de las fotografías para la generación del mosaico. ....	79
Figura 24. Orto mosaicos.....	79
Figura 25. Vistas 1 del trabajo realizado en campo con el dron. ....	81
Figura 26. Vistas 2 del trabajo realizado en campo con el dron. ....	81

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Fotogrametría según su tratamiento.....	21
Tabla 2. Profundidad de color.....	30
Tabla 3. Ventajas y limitaciones del uso de los tipos de UAV.....	36
Tabla 4. Especificaciones Trimbe UX5 .....	37
Tabla 5. Especificaciones DJI Phantom 4 Pro. ....	40
Tabla 6. Distancia Focal de la cámara recomendada por Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076 según el tipo de proyecto.....	47
Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de las cámaras lineales. ....	49
Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de las cámaras matriciales.....	49
Tabla 9. Operacionalización de las variables.....	59
Tabla 10. Datos de BMs georreferenciados de muestra de una población de 22 BMs .....	64
Tabla 11. Datos Fotogramétricos del Vuelo del dron. ....	64
Tabla 12. Datos d.....	64
Tabla 13. Resultado de la prueba estadística “t” .....	65
Tabla 14. Puntos de Control de la Estación Total.....	65
Tabla 15. Puntos de control del dron y diferencias con respecto a los puntos de la estación total .....	66
Tabla 16. Tiempo usado en campo y gabinete A (estación total); B (dron).....	66
Tabla 17. Cálculo de t entre tratamiento de A y B.....	66
Tabla 18. Comparación en compra de equipos. ....	82
Tabla 19. Comparación en alquiler de equipos.....	82
Tabla 20. Comparación gastos total de levantamiento topografico. ....	83



## **SIGLAS.**

<b>ATT</b>	Automatic Aerial Triangulation.
<b>ATP</b>	Automatic Tie Point.
<b>CRS</b>	Coordinate Reference System.
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model.
<b>DSM</b>	Digital Surface Model.
<b>DTM</b>	Digital Terrain Model.
<b>EXIF</b>	Exchangeable image file format.
<b>GCP</b>	Ground Control Point. (Puntos de Control Terrestre)
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System. (Sistema global de navegación Satelital)
<b>GPS</b>	Global Positioning System. (Sistema de posicionamiento Global)
<b>GSD</b>	Ground Sampling Distance.
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Units.
<b>MTP</b>	Manual Tie Point.
<b>NVDI</b>	Normalized Difference Vegetation Index.
<b>SIG:</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>RTK</b>	Real Time Kinematic.
<b>TIFF</b>	Tagged Image File Format.
<b>UAS</b>	Unmanned Aerial System. (Sistema aéreo no tripulado)
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle. (Vehículo aéreo no tripulado)

## **RESUMEN.**

En estos tiempos de adelantos y avances tecnológicos a gran escala, obtenemos nuevas tecnologías actualizadas, las que requieren ser probadas en nuestro entorno y realidad, por ello el motivo de la presente tesis, el cual se dedica a la comprobación y verificación de los levantamientos topográficos con sistemas tradicionales ampliamente conocidos (estación total), versus un nuevo y mejorado equipo, como es el dron DJI Phantom 4 pro, versión nueva en el mercado, con una mayor tecnología en su cámara, con lente más potente de mayor capacidades en pixeles, mejor obturador; y lo mismo pasa en sus demás componentes del mencionado dron; a la vez también se compara con trabajos de investigación de drones antecesor al actual, tanto nacional como internacional, donde en su mayoría concluyen en sus resultados favorables y fiables para esta nueva tecnología en los casos de levantamientos topográficos, a pesar de que algunos equipos son de menores capacidades en sus diferentes componentes y sistemas en comparación al actual.

El presente trabajo de investigación, se obtiene un 95% de confianza estadística.

## **ABSTRACT**

In these times of advances and technological advances on a large scale, we obtain new updated technologies, those that need to be tested in our environment and reality, for that reason the motive of this thesis, which is dedicated to the verification and verification of topographic surveys with well-known traditional systems (total station), versus a new and improved equipment, such as the DJI Phantom 4 pro drone, a new version on the market, with a greater technology in its camera, with a more powerful lens with higher pixel capacities, better shutter; and the same happens in its other components of the aforementioned drone; At the same time, it is also compared with previous drones research work to the present, where most of them conclude in their favorable and reliable results for this new technology in the cases of topographic surveys, despite having lower capacities in their different components and systems. in comparison to the current one.

The present research work, 95% statistical confidence is obtained.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad problemática.

En el mundo actual, el aprovechamiento de esta nueva tecnología de los drones está dando nuevos avances y aportes a las diferentes disciplinas de la ciencia a través de sus carreras profesionales en sus diferentes áreas, dándoles mayores facilidades en investigación, diseño, manejo, control, seguimiento, e innovación constante de estas mismas áreas, debido a la misma innovación diaria y exagerada de tecnológica que vienen atravesando los drones, el cual sucede una vez llegados al uso civil y han evolucionado tanto en capacidades, tamaños, tipos, y usos, entre otros, los que nos facilitan grandemente en la vida cotidiana, tanto en la ciencia investigativa como en el comercio, transporte, consumo, seguridad, prevención de desastres, medicina, milicia, etc.

La ingeniería Civil y otras ingenierías, cuentan con el área de topografía, que esta a su vez, está conformada por la agrimensura, cartografía, fotogrametría, geodesia, entre otras rama ciencias, las que son extremadamente necesarias en el modelamiento del terreno, que servirá para el diseño y formulación del universo de proyectos de infraestructura diversos, realizándose el levantamiento de datos de campo con diferentes métodos, tratando de economizarse al máximo los diferentes recursos y tiempo, realizándose el trabajo en menor tiempo, con menor costo, por ello la presente evaluación nos servirá para medir entre el levantamiento tradicional con estación total versus el uso de los drones.

Para ello se realizó un levantamiento topográfico con estación total y con drone o RPAs, en la ciudad de Ayacucho en el sector conocido como Quinuapata, en la parte de la quebrada del mismo sector, el cual está ubicado en las faldas del cerro la picota dentro de la ciudad, donde tiene varios accesos a través de las diferentes calles, de este sector, teniendo como centroide en las coordenadas,  $X = 583037.47636$ ;  $Y = 8544122.33355$   $Z = 20795.2$ ; con  $569967.367\text{m}^2$  o 56.9 ha. de barrido y área de estudio.

La estación total es un equipo electro-óptico y electrónico, donde cuenta con un distanciómetro combinado con un teodolito, y todo ello gobernado por un

microprocesador; mientras los drones son equipos fotogramétricos no tripulados que con la ayuda de una cámara colectan fotos desde una cierta altura elevado por un sistema de hélices impulsados por motores eléctricos a batería, que con el apoyo de la geodesia y su electrónica del dron recolecta las fotos de forma programada y georreferenciada para la fotogrametría.

## **1.2. Formulación del problema.**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Será fiable el uso de drones en levantamientos topográficos comparados con una estación total y cuál de los equipos de uso topográfico son más eficientes?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

**PE1:** ¿De qué manera se realiza los levantamientos topográficos con la implementación de los drones?

**PE2:** ¿Los datos obtenidos de forma indirecta, tomados desde un dron aplicando la fotogrametría, tienen la misma precisión respecto a un método tradicional directo?

**PE3:** ¿Qué método de levantamiento topográfico será el más económico y eficiente?

## **1.3. Justificación.**

El presente documento tiene como fin el aporte metodológico para mayor criterio en el uso de drones en los diferentes tipos de levantamientos topográficos los que servirán a la ingeniería y esta a su vez a la sociedad en su conjunto.

Se obtiene una relevancia social, por que explora alternativas para ejecutar trabajos a bajo costo con mayor rapidez de obtención de productos finales, lo que agiliza y facilita la elaboración de mayor cantidad de proyectos en menos tiempo que el actual, beneficiando a la sociedad en mayor atención de necesidades de proyectos comunes y de urgencia.

Facilita la realización de mapas y deslindes en zonas de poco acceso tanto por inaccesibilidad, conflictos comunales, riesgo de derrumbes u otros, conflicto de linderos y zonas de servicio.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Determinar la fiabilidad y eficiencia de levantamientos topográficos usando drones versus el método tradicional.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- a. Describir el procedimiento del método de levantamiento topográfico con drones.
- b. Determinar si las mediciones de campo obtenidas con el dron son similares al de una estación total.
- c. Comparar y determinar cuál de los dos métodos de levantamiento topográfico es más económico, que impliquen menor tiempo y si cumplen con la precisión requerida.
- d. Presentar resultados de los levantamientos topográficos comparativo de acuerdo a sus eficiencias.

## **1.5. Línea de Investigación:**

Gestión, innovación y tecnología en infraestructura moderna, debido a que plantea el uso de nueva tecnología como son los drones en levantamientos topográficos, sus facilidades, precisiones y usos.

## **1.6. Alcances, Limitaciones y Viabilidad de la Investigación.**

### **1.6.1. Alcances:**

- a. Información de trabajos de tesis disponibles a nivel internacional y nacional en la web, sobre diversos temas y aplicaciones de los drones.
- b. Softwares y Tutoriales de uso y manejo de drones disponibles en la web.
- c. El presupuesto para el proyecto será aportación del postulante.
- d. El procesamiento de las imágenes será a través del software Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076 el que se ofrece un mes de prueba por un mes sin costo.

### **1.6.2. Limitaciones.**

- e. Falta de mayor tiempo y mejor presupuesto, para un mayor grado de pruebas, ensayos, demostraciones y comprobaciones de las especificaciones técnicas y sus características que brinda el fabricante y determinar las posibilidades, así como sus capacidades de rendimiento en diferentes escenarios tanto en costa, sierra y selva.
- f. Una limitación en esta temporada son las lluvias continuas de temporada propia de la sierra Sur de Perú y al igual que trabajos con estación total se tiene que trabajar en condiciones ambientales adecuadas donde se trabajo en fechas sin lluvias.
- g. En zonas de frondosa vegetación limita a ambos sistemas de levantamiento topográfico, adecuado el cual no se cubren todas las zonas.

### **1.6.3. Viabilidad.**

- a. La viabilidad de la presente investigación se hace positivo por contarse con recurso teórico, humano, financiero y el tiempo adecuado del postulante el que ha logrado superar las limitaciones.
- b. La capacidad técnica para desarrollar la investigación es óptima.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes.

#### 2.1.1. Antecedentes históricos.

**Historia del Drone:** A nivel global los drones, son la respuesta a las primogénitas naves aéreas tripuladas que se registraron a lo largo de la primera mitad del siglo XIX, donde el primer drone se observa en la primera guerra mundial, construido en el año 1,916 el que estaba controlado por una radio frecuencia AM baja, el cual su primera función era el de afinar la puntería de la artillería antiaérea, así más adelante la combinación entre el uso de los torpedos y las alas dentro de su genealogía oculta en sus raíces da el desarrollo de los torpedos aéreos antecesores a los misiles de crucero y posteriormente a los de tipo guiado y al final a los drones en cuestión.

Lo que en resumen el drone es una tecnología nacida en los senos de la milicia, al igual como lo es casi toda la tecnología actual. Los drones actuales tuvieron etapas diferentes entre mejoras y adelantos en competencia entre varios países hasta la actualidad. Todo esto conlleva a abaratar costos de fabricación en ediciones más avanzadas, facilitando la adquisición de estos para el público en general, los mismos que le dan los diferentes usos en diferentes campos exigiendo evoluciones aceleradas y mayor competencia entre fabricantes e investigadores, los que vienen respondiendo atentamente a estas nuevas exigencias,

Las denominaciones que se le puede asignar a los Drones son muy variadas dependiendo del país de fabricación y entre ello se tiene diferentes denominaciones como:

- **Drone (zángano en español):** denominación popular de las aeronaves no tripuladas. Proviene del ámbito militar durante los años de la década de los 40. Es un término aplicado a los aviones espía utilizados en las campañas bélicas.
- **UAV (Unmanned Aerial Vehicle):** concepto en desuso, de ámbito militar, para referirse literalmente a los vehículos aéreos no tripulados.



- **RPA (Remotely Piloted Aircraft):** término para denominar a las aeronaves no tripuladas que son operadas mediante control remoto. Aplicado principalmente a los dispositivos destinados a la aviación comercial.
- **Aeronaves autónomas UAV:** las aeronaves autónomas son los aparatos capaces de desarrollar una función de forma completamente independiente, sin intervención humana de ningún tipo.

### 2.1.2. Antecedentes internacionales.

Coello A. y Ballesteros G. (2013) en su tesis presentada en la Universidad Politécnica de Madrid, España, titulada “Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica”, realizó una investigación con el objetivo general de realizar un estudio comparativo utilizando dos procedimientos diferentes para la obtención de mapas y modelos digitales del terreno, por un lado, realizando un levantamiento de una zona determinada mediante GPS y por otro lado mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado, mediante un estudio comparativo entre levantamiento taquimétrico empleando equipo GNSS R8 modelo 3 de Trimble, obtención de coordenadas mediante equipo GNSS R10 de Trimble y toma de datos mediante avión de ala fija UX5 de Trimble para luego realizar la comparativa de los resultados obtenidos con el vuelo y los obtenidos en el levantamiento taquimétrico.

En el estudio se obtuvo entre las principales conclusiones que desde el punto de vista de la fotogrametría, se encontró en los vehículos aéreos no tripulados una nueva solución para la captura de imágenes aéreas y generación de productos topográficos; la ampliación de su uso en aplicaciones civiles, la integración de los mismos o la puesta en marcha de aplicaciones y basadas en su uso sigue en pleno desarrollo; desde el punto de vista topográfico, el uso de equipos GNSS con metodología RTK VRS Now permitió obtener correcciones en tiempo real eliminando los errores con respecto a la distancia a la base y mejorando las precisiones; las mediciones se realizan de manera rápida y con muy buenas precisiones utilizando esta metodología.

Villareal Moncayo J. (2015) en su trabajo de titulación en la Universidad Técnica Particular de Loja titulado “Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de

control”, realizó una investigación con el objetivo general de realizar un análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de drones respecto a la densidad de puntos de control, tomando como sitio de prueba el campus de la Universidad Técnica Particular de Loja, ubicada en la ciudad de Loja, provincia de Loja, al sur del Ecuador.

Entre las principales conclusiones obtuvo que usando UAVs la precisión de los levantamientos topográficos varía de acuerdo a la densidad y ubicación de los puntos de control y considerando la visibilidad en el terreno de estudio; el mínimo número de puntos de control para un levantamiento topográfico mediante UAV es de 3 GCP.

Corredor Daza J. (2015) en su tesis presentada en la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia, titulada “Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua – Rio Frio” realizó un estudio con el objetivo de implementar modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de 12,62 Km de una vía en rehabilitación en el departamento del Valle del Cauca en el Sector Tulua – Rio Frio, realizando comparaciones de modelos digitales de topografía con drones y topografía convencional, concluyendo las condiciones topográficas en el que se desarrolla el corredor vial son muy buenas; los levantamientos topográficos realizados con drones permiten ser utilizados en gran cantidad de proyectos de consultoría ya que economizan tiempo en la recolección de información, presentando alta precisión; en el diseño de vías se recomienda trabajar con las dos técnicas de captura en forma conjunta ya que la topografía convencional proporciona información más detallada lo que permite hacer una mejor descripción de obras, mientras que la topografía con drones permite capturar una amplia zona del terreno con mayor precisión.

### **2.1.3. Antecedentes nacionales.**

Tacca H. (2015) en su tesis presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, titulada “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional” realizó una investigación con el objetivo general de comparar los resultados del método drone y del software PIX 4D

mapper, y el método directo, mediante un estudio comparativo en el que se empleó la toma de datos con una estación total Leica FlexLine TS02 plus de 5", de todos los puntos resaltantes tales como desniveles y cambios de pendiente de la excavación así como del acopio del material tipo núcleo, así como las tomas fotográficas aéreas, mediante el apoyo del drone Phantom 2 Visión.

Entre las principales conclusiones obtuvo que los datos obtenidos en campo tomados con el drone Phantom 2 Visión + y las medidas obtenidas con la estación total, ambos equipos georreferenciados, tienen resultados muy similares, sin embargo el primer método es el menos costoso por su versatilidad esto con un 95% de confianza; los cálculos de volúmenes y excavaciones con el uso de la fotogrametría y el drone Phantom 2 Visión +, se realiza en menor tiempo que con la estación total, además se requiere mucho menos personal que el método clásico.

## **2.2. Bases Teóricas.**

### **2.2.1. Topografía.**

Son los principios y métodos empleados con el fin de determinar las posiciones relativas de puntos encontrados en la superficie, usando tres elementos de espacio, dos de ellos es la distancia y una es la elevación.

La topografía, constituye una aplicación de la geometría por lo que, no se podría cumplir con el cometido asignado sin conocimientos Geométricos; así mismo a la topografía se le considera una de las herramientas básicas de la ingeniería civil. (García, 1994, p.1)

#### **2.2.1.1. Importancia de la topografía.**

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para:

- Elaborar mapas de superficies terrestres, arriba y abajo del nivel del mar.
- Trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima.

- Deslindar propiedades privadas y públicas.
- Crear bancos de datos con información de recursos naturales y utilización de la tierra, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico.
- Evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campo magnético de la tierra.
- Preparar mapas de la luna y de los planetas

La topografía desempeña un papel sumamente importante en muchas ramas de la ingeniería, por ejemplo, los levantamientos topográficos son indispensables para planear, construir y mantener carreteras, sistemas viales de tránsito, edificios, puentes, base de lanzamiento de cohetes y estaciones astronáuticas, estaciones de rastreo, túneles, canales, presas, obras de drenaje, fraccionamiento de terrenos urbanos, sistemas de aprovisionamiento de agua potable y eliminación de aguas negras, tuberías y tiros de minas, los métodos topográficos se emplean comúnmente en las instalaciones de líneas de ensamble industrial y otros dispositivos de fabricación, para el armado y montaje de equipo y maquinaria de gran tamaño, para determinar el control de la aerofotogrametría, y en muchas actividades relacionadas con la agronomía la arqueología, la geografía, la geodesia, la arquitectura del paisaje, la meteorología, pero sobre todo en la ingeniería civil, etc.

#### ***2.2.1.2. División de la topografía.***

Para su estudio la topografía se divide en tres partes:

- Topología, que estudia las leyes que rigen las formas del terreno.
- Topometría, que establece los métodos geométricos de medida.
- Planografía, que es la representación gráfica de los resultados y constituye el dibujo topográfico.

Para que sea completa la representación gráfica de una porción de la superficie terrestre deberá contener:

- La forma general del terreno, o sea, su contorno o perímetro y los detalles interiores (construcciones, caminos, puentes, ríos, etc.).
- La diferencia de altura que guardan los puntos del terreno, unos respecto a otros;  
y
- La superficie del terreno.

Según las operaciones que se ejecutan para representar el terreno, se divide la topografía en: planimetría y altimetría.

**a) *Planimetría.***

Se refiere a la posición de puntos y su proyección sobre un plano horizontal. Llamamos planimetría a la parte del trabajo topográfico que consiste en determinar la situación de los puntos del terreno en el plano XY.

La planimetría estudia los puntos de la superficie terrestre para proyectarlos sobre un plano horizontal, llamado plano de referencia. Para representar un punto en un plano, es decir, en un espacio bidimensional, es necesario establecer un sistema de referencias que nos sitúe los puntos medidos respecto a un origen común

**b) *Altimetría.***

La altimetría considera las diferencias de nivel existentes entre puntos de un terreno o una construcción. Para poder conocer estas diferencias de nivel hay que medir distancias verticales, directa o indirectamente, operación que se denomina nivelación.

Todas las alturas de un trabajo de topografía, están referidas a un plano común de referencia. Este plano llamado de comparación es una superficie plana imaginaria, cuyos puntos se asumen con una elevación o altura de cero. Se denomina cota, elevación o altura de un punto determinado de la superficie terrestre a la distancia vertical que existe desde el plano de comparación a dicho punto.

Comúnmente se usa como plano de comparación el del nivel medio del mar, que se establece por medio de un gran número de observaciones en un aparato llamado mareógrafo a través de un largo período de años. En los trabajos topográficos, dada su limitada extensión superficial, el plano de comparación no es necesariamente el nivel medio del mar, sino que el operador lo elige a su arbitrio, procurando que todas las cotas resulten positivas para comodidad del cálculo.

### **2.2.1.3. Levantamientos topográficos.**

Son el conjunto de operaciones necesarias para determinar posiciones sobre la superficie de la Tierra, de las características naturales y/o artificiales de una zona determinada y establecer la configuración del terreno. El procedimiento a seguir en los levantamientos topográficos comprende dos etapas fundamentales:

- El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Esta recopilación fundamentalmente consiste en medir ángulos horizontales y/o verticales y distancias horizontales o verticales.
- El trabajo de gabinete o de oficina, que consiste en el cálculo de las posiciones de los puntos medidos y el dibujo de los mismos sobre un plano. La mayor parte de los levantamientos, tienen como objeto el cálculo de superficies y volúmenes, y la representación de las medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos, por lo cual estos trabajos también se consideran dentro de la topografía, donde reciben el nombre de topometría.

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable.

Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel mar; trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; deslindar propiedades privadas y públicas; crear bancos de datos con información sobre recursos naturales y utilización de la tierra, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico; evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campo magnético de la Tierra; y preparar mapas de la Luna y los planetas. Es difícil imaginar un proyecto de ingeniería por sencillo que esta sea, en el que no se tenga que recurrir a la topografía en todas y cada una de sus fases.

#### ***Tipos de levantamientos.***

Existen diversos tipos de levantamientos especializados. Aquellas personas que busquen hacer carrera en topografía y cartografía, deberían conocer todas las fases de esta materia, ya que están íntimamente relacionadas con la práctica moderna. Continuación se describen brevemente algunas clasificaciones importantes:

- **Levantamiento de control:** Red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos
- **Levantamientos topográficos:** Determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usada en la elaboración de mapas.
- **Levantamientos catastrales de terreno y de linderos:** Normalmente se trata de levantamientos cerrados y ejecutados con el objetivo de fijar límites de propiedad y vértices.
- **Levantamiento hidrográfico:** Definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua. Los levantamientos hidrográficos junto con la ingeniería civil, cubren los levantamientos para proyectos de bahía, puertos, lagos o ríos y en la actualidad puede involucrar los levantamientos de construcción de plataformas marinas asociadas con líneas de conducción.
- **Levantamiento de rutas:** Se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y proyectos lineales. Estos normalmente comienzan en un punto de control y pasan progresivamente a otro, de la manera más directa posible permitida por las consideraciones del terreno.
- **Levantamientos de construcción:** Determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción. También proporcionan datos elementales para calcular los pagos a los contratistas.
- **Levantamientos finales según obra construida:** Documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción. Estos levantamientos son sumamente importantes cuando se construyen obras subterráneas de servicios, cuyas localizaciones precisas se deben conocer para evitar daños inesperados al llevar a cabo, posteriormente, otras obras.
- **Levantamientos industriales:** Son procedimientos para la ubicación de maquinarias industriales, son levantamientos de mucha precisión con errores muy pequeños.

- **Levantamientos terrestres, aéreos y por satélites:** Son los que integran mediciones electrónicas, fotogrametría terrestre y aérea, y los sistemas de posicionamiento Global. Es la más amplia clasificación usada en algunas ocasiones. Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre, como cintas de medición, instrumentos electrónicos para la medición de distancias (IEME), niveles y teodolitos e instrumentos de medición total, los levantamientos aéreos pueden lograrse, ya sea utilizando la fotogrametría o a través de detección remota. La fotogrametría usa cámaras que se montan en los aviones, en tanto que el sistema de detección remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden que pueden transportarse tanto en avión como en satélites. Los levantamientos aéreos se han usado en todos en todos los tipos de topografía especializada que se enumeran aquí, a excepción de sistema de línea óptica, y en área se usan con frecuencia fotografías terrestres (con base en el terreno). Los levantamientos por satélites incluyen la determinación de sitios en el terreno usando receptores GPS, o de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la tierra.

### **2.2.2. Fotogrametría.**

Es una técnica de medición indirecta que permite obtener las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales mediante el procesamiento de imágenes fotográficas.

El tipo de procesamiento dependerá del origen de las fotografías, es decir del tipo de cámara empleada (puede ser digital o analógica lo que a su vez implica otras consideraciones).

Es entonces la fotogrametría: El conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo. Esta técnica se basa en los principios de la geometría proyectiva y la visión estereoscópica.

La palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photós", luz, y "gramma", trazado, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y "metrón", medir.



Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos". Si trabajamos con una foto podemos obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), podremos tener visión estereoscópica; o dicho de otro modo, información tridimensional.

La fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas. (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing- 1979).

Según Paul R. (1994) la fotogrametría puede definirse como la técnica para obtener información cuantitativa y cualitativamente válida, a partir de fotografías. La fotogrametría puede dividirse en dos áreas, métricas e interpretativa. La métrica es de especial interés para los topógrafos, ya que se aplica a la determinación de distancias, elevaciones, áreas, volúmenes, secciones transversales y en la elaboración de mapas ortográficos con base en mediciones hechas en fotografías. En esta aplicación se utiliza, principalmente, la fotografía aérea (realizada a bordo de vehículos aeronáuticos), pero en casos especiales se emplea también la fotografía terrestre (realizada por cámaras emplazadas en la tierra).

Según Otero, (2005), la fotogrametría es un sistema de captura de información a distancia cuyos principios y particularidades se desarrollarán en los apartados siguientes; actualmente las técnicas de la fotogrametría se consideran integradas con las técnicas de percepción remota y las de fotointerpretación, tres técnicas que se complementan entre sí, no obstante se puede afirmar que la fotogrametría se concreta en la interpretación cuantitativa de fotografías aéreas y otros materiales aerofotográficos con el objetivo primordial de obtener mapas.

### **2.2.2.1. Levantamiento fotogramétrico.**

El levantamiento fotogramétrico es la aplicación de la fotogrametría a la topografía. Pese a que la fotogrametría no es una ciencia nueva (sus inicios se estiman a mediados del siglo XIX) sus aplicaciones en topografía son mucho más recientes.

Si se trabaja con una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a estas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica, o dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Según Jiménez (2011), cualquier levantamiento está sujeto a errores, los cuales pueden ser inherentes a la medida por el método o instrumento utilizado (error accidental), pueden deberse a un error en el mismo sentido y, constante para un periodo de tiempo (error sistemático) o estar motivados simplemente por una equivocación (error grosero).

Además, conviene no confundir precisión y exactitud de un levantamiento. La precisión se puede entender como el número de cifras decimales con las que se representa una determinada magnitud. La exactitud es la fidelidad en la ejecución de una medida, es decir, la diferencia entre el valor medio y el valor real o valor verdadero de la magnitud medida.

### **2.2.2.2. Ventajas y limitaciones de la fotogrametría.**

#### **Ventajas.**

- Levantamientos más rápidos, en la fase de restitución en sí. Hay que tener en cuenta que a veces el vuelo fotogramétrico se demora si la climatología no es la adecuada.
- Si el terreno es de difícil acceso, la fotogrametría es la técnica adecuada, puesto que no se necesita acceder a todo el terreno. Sólo habría que visitar aquellas zonas en las que se emplacen los puntos de apoyo.

- Registro continuo de todo el terreno. Todos los detalles del terreno quedarían registrados en la fotografía. Sin embargo, mediante un levantamiento topográfico, sólo se dispondría de coordenadas de los puntos medidos, que supondría un número bastante limitado con respecto a la totalidad del terreno.
- Reducción de costos. Está relacionado con el tamaño del área a restituir. A partir de las 200 ha. de superficie, el método fotogramétrico se torna competitivo frente al método topográfico, aumentando esta competitividad a medida que el área se hace más extensa.

La Fotogrametría se puede aplicar en regiones donde no pueden utilizarse los métodos clásicos, como, por ejemplo: en regiones intransitables, tales como: ciénagas, desiertos, selvas vírgenes, territorios azotados por alguna epidemia u ocupados por fuerzas enemigas, etc.

La aerofotogrametría aporta además una serie de ventajas, tales como, la fotografía en sí, la cual es un documento que permite efectuar cualquier control en un momento dado.

#### Limitaciones.

- Ocultamiento de elementos por la vegetación. Si el terreno tiene demasiada vegetación, impide la visión de elementos que estén por debajo de ella. En ese caso, si es necesario el registro de coordenadas de esos elementos, se haría necesaria una medición en campo de dichos elementos, por topografía clásica.
- Ubicación de curvas de nivel sobre superficies planas. El determinar la trayectoria de una curva de nivel en un terreno plano tiene un alto grado de dificultad, debido a la imprecisión en la colocación de la marca flotante. En consecuencia, se colocan puntos acotados en la restitución o se complementa con trabajo de campo.
- Siempre es necesario realizar un control de campo.

### 2.2.2.3. Clasificación de la fotogrametría.

#### *Según su especialidad.*

Frecuentemente se divide en dos especialidades de acuerdo con el tipo de fotografía utilizada (Herrera, 1987) y estas son:

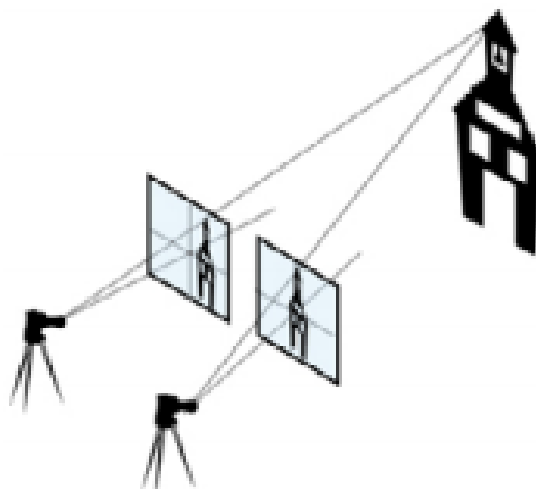
- Fotogrametría terrestre.
- Fotogrametría aérea.

#### Fotogrametría terrestre.

La fotografía es usada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre.

Tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, la fotografía es usada en una posición tal que el eje de la cámara fotográfica resulta horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida. (Herrera, 1987).

*Figura 1. Fotogrametría Terrestre.*



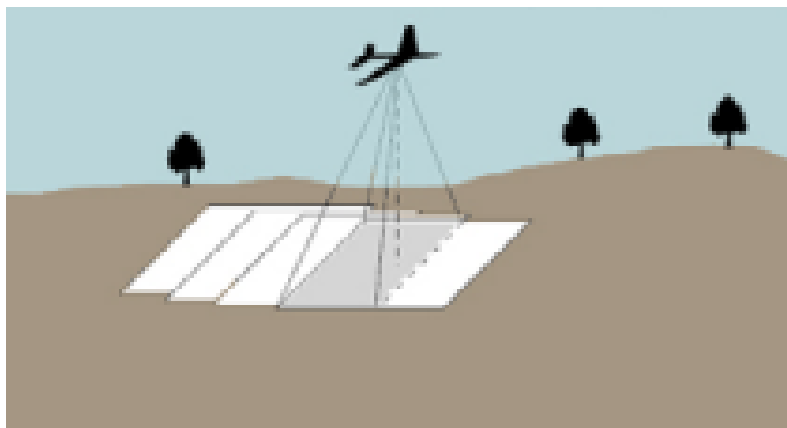
Fuente: “Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil” por Elida Quirós Rosado.

### Fotogrametría aérea.

Fotografías obtenidas desde vehículos aéreos; donde el eje óptico de la cámara fotográfica resulta sensiblemente perpendicular al terreno o corteza terrestre.

Es la que utiliza fotografías aéreas obtenidas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (vehículo aéreo) (Herrera, 1987).

*Figura 2. Fotogrametría Aérea.*



*Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.*

### Fotogrametría Espacial.

Las fotografías son obtenidas desde los satélites.

*Figura 3. Fotogrametría Espacial.*



*Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.*

### ***Según el método empleado.***

También dependiendo del método empleado, se pueden distinguir tres tipos diferentes de fotogrametría:

- Fotogrametría analógica.
- Fotogrametría analítica.
- Fotogrametría digital.

### **Fotogrametría analógica.**

Se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado la confección de mapas, con información planialtimétrica, se realiza con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio.

Según Otero, (2005) la fotogrametría analógica lo consigue mediante la utilización directa de 10 fotografías (formando modelos estereoscópicos), reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos.

#### Fotogrametría analítica.

Con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas.

Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD.

Esto únicamente supuso una evolución en el modo de trabajar apoyada por la aparición de los sistemas informáticos, obteniendo mejores precisiones y mayor rendimiento al sustituir la analogía mecánica por los cálculos matemáticos.

Otero, (2005) plantea que en este caso el modelo espacial se reconstruye exclusivamente mediante programas informáticos que simulan dicha geometría.

#### Fotogrametría digital.

Finalmente, el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y los programas aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D.

Las imágenes digitales son ingresadas a la computadora y el operador puede identificar con buena precisión los puntos homólogos o bien la computadora realiza estas operaciones por comparación de imágenes; finalmente el resultado es una imagen en formato raster o vectorial. Esta salida (digital) puede ser utilizada como información de base para la generación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para Otero, (2005) la fotogrametría digital utiliza como dato de entrada las fotografías aéreas previamente transformadas a formato digital, reconstruyendo así mismo el modelo espacial de forma numérica o digital; en este caso los conceptos relativos a tratamiento digital de imágenes cobran gran importancia.

Tabla 1 Fotogrametría según su tratamiento.

Tipo de fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película fotográfica	Analógico (óptico mecánico)	Analógica
Analítica	Película fotográfica	Analítico (computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital.	Analítico (computadora)	Digital

Fuente: Elaboración propia.

### **Tipos de fotografía aérea.**

Las fotografías se pueden clasificar de varias maneras en función del criterio empleado. Como tal puede tomarse el ángulo de exposición, las especificaciones o la forma en que se usan.

#### Por el ángulo en que se usan.

- a) **Fotografías verticales:** son aquellas tomadas con la cámara colocada de tal manera que el eje óptico de la lente, en el momento de la exposición, está paralelo a la línea zénit-nadir, es decir, vertical ( $90^\circ$ ) y como máximo la inclinación de la cámara no superara los 3 grados.
- b) **Fotografías oblicuas:** son fotografías obtenidas en condiciones de desviación angular deliberada del eje óptico respecto a la vertical (supera los 3 grados). De acuerdo con ello, puede ocurrir que el horizonte sea visible en la fotografía o que no lo sea. Si es visible, se puede calcular el ángulo de inclinación.
- c) **Fotografías panorámicas:** son fotografías que registran el horizonte. (Orellana,2006, p.9 y p.10)

#### Por las especificaciones.

- Según la escala.
- Según la lente y la cámara usada.
- Según la estación del año.
- Según la emulsión de la película



Por la forma en la que se usan las fotografías.

- a) **No corregidas:** son las más baratas, y fiel imagen del negativo. Son adecuadas para la mayoría de los usos y tienen un tamaño muy conveniente para su manejo en el campo y para su estudio con estereoscopio de bolsillo.
- b) **Compensadas:** en las cuales las variaciones de escala entre fotografías han sido eliminadas.
- c) **Rectificadas:** en las cuales se ha eliminado el balanceo. Normalmente las fotografías se toman con el eje de la cámara inclinado levemente respecto a la vertical, puesto que es casi imposible lograr su verticalidad en un aeroplano que se mueve y vibra.
- d) **Ampliadas:** las fotografías ampliadas se pueden usar como parte de los archivos de gabinete. En ellas se puede identificar con facilidad límites de propiedades, zonas quemadas, zonas de corta, carreteras y líneas de teléfono.
- e) **Mosaicos:** cuando una serie de fotografías se ha reunido en una única fotografía compuesta.
- f) **Impresiones:** tridimensionales Cuando un par de fotos se ha combinado para reproducir su visión estereoscópica.

#### *Aplicación de la fotogrametría en la ingeniería civil.*

En el marco general de la ingeniería existen cuatro grandes grupos de actuaciones donde se utilizan la fotogrametría:

- a) Vías de comunicación: para el estudio de establecimiento de trazados.
- b) Planificación territorial: en el planeamiento urbanístico y ordenación del territorio.
- c) Hidrografía: estudio de cuencas, deformaciones de presas, etc.
- d) Ejecución de movimiento de tierras: medición de volúmenes removidos.

#### **2.2.2.4. Fotogrametría digital.**

El paso de la fotogrametría analítica a la digital supone un cambio radical en cuanto a la instrumentación, al proceso fotogramétrico y a los resultados; por lo que se ha dicho que

se trata de una revolución tecnológica. Es en esta revolución tecnológica que se fundamenta este estudio, brindando la oportunidad de poder extraer más información de “la misma materia prima”, es decir, de las fotografías aéreas.

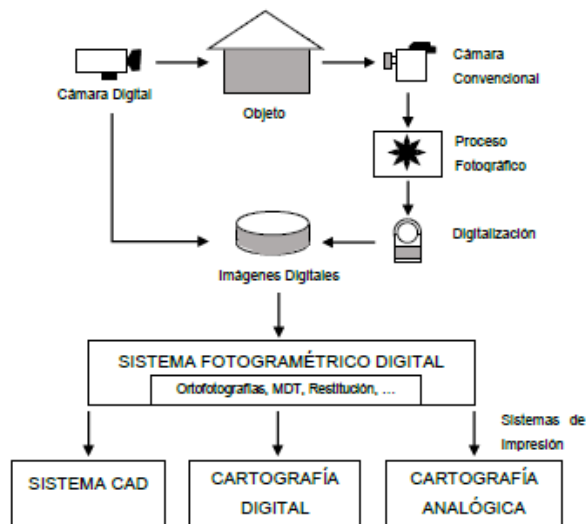
Esta metodología se basa en una entrada en formato digital, un procesamiento casi completamente automatizado mediante el uso de un software especializado y una salida en formato enteramente digital. La segunda y tercera fase, se desarrollan siempre de la misma forma y es en la primera donde puede haber variaciones (Figura 1).

El objetivo fundamental de un sistema fotogramétrico, cualquiera que sea la metodología empleada para su construcción es la obtención de información espacial de objetos a partir de imágenes de los mismos, en el caso concreto de los Sistemas Fotogramétricos Digitales, a partir de imágenes en formato digital. En la actualidad, para la adquisición de imágenes digitales fotogramétricas son empleados dos procedimientos básicos:

1. Digitalización de imágenes analógicas adquiridas con cámaras fotográficas convencionales.
2. Utilización de sensores digitales, o bien sensores analógicos dotados de un conversor analógico/digital.

En la figura se presenta de una forma esquemática el proceso fotogramétrico digital:

*Figura 4. Esquema de Proceso para la Obtención de Datos*



Fuente: Apuntes Fotogrametría Básica de Rodrigo Orellana Ramírez (p.38)

Un sistema fotogramétrico digital debe cumplir los siguientes requerimientos en cuanto a hardware:

- Un sistema de digitalización de imágenes analógicas.
- Posibilidad de entrada directa de datos en formato digital (p.ej., cámara digital) para la realización de aplicaciones fotogramétricas en tiempo real.
- Sistema de medida 3D de imágenes digitales de diferentes fuentes y geometrías.
- Manipulación y procesamiento de imágenes de gran tamaño en un tiempo razonable.
- Generación automática de modelos digitales de elevaciones con precisión a nivel de subpixel.

### Fotografía digital.

La fotografía digital consiste en la obtención de imágenes mediante una cámara oscura, de forma similar a la fotografía química. “Sin embargo, así como en esta última las imágenes quedan grabadas sobre una película fotosensible y se revelan posteriormente mediante un proceso químico, en la fotografía digital las imágenes son capturadas por un sensor electrónico que dispone de múltiples unidades fotosensibles, las cuales aprovechan el efecto fotoeléctrico para convertir la luz en una señal eléctrica, la cual es digitalizada y almacenada en una memoria. (Tecniber, 2012)

Su uso presenta ciertas ventajas y desventajas como son:

#### **Ventajas:**

- La ventaja de este sistema respecto a la fotografía química es que permite disponer de las imágenes grabadas al instante, sin necesidad de llevar la película al laboratorio y revelar los negativos para poder ver las imágenes; esta ventaja en la rapidez en la disponibilidad de la imagen permite que el fotógrafo haga los cambios en el momento y realice las correcciones que considere pertinentes de forma inmediata, facilitando así lograr la imagen que se desea.
- En la cámara digital pueden verse en una pantalla las fotos que se acaban de tomar. La cámara se puede conectar a una computadora u otro dispositivo capaz de

mostrar las fotos en un monitor. Como están en un formato digital, las fotos pueden enviarse directamente por correo electrónico, publicarse en

- la Web y se pueden procesar con programas de tratamiento fotográfico en una computadora, para ampliarlas o reducir las, realizar un recuadro (una parte de la foto), rectificar los colores y el brillo, y realizar otras muchas posibles modificaciones según el programa que se utilice.
- Otra gran ventaja de la fotografía digital es que cada vez que la cámara toma una foto crea un archivo de metadatos Exif (datos no visuales) y guarda dentro del archivo de imagen información relevante de la captura como la fecha, la hora, la apertura del diafragma, la velocidad de obturación, velocidad del ISO, coordenadas de la captura, etc. Esta información es muy útil para estudiar las imágenes y entender más acerca de cada fotografía y también facilita el ordenamiento y el manejo de los archivos fotográficos.
- Otros recursos útiles existentes en fotografía digital son el histograma de brillo, que es un gráfico que muestra la distribución de los píxeles de la imagen según sus niveles de brillo; así como el histograma RGB que muestra la distribución de los píxeles en los diferentes canales de color: en el caso del modo RGB, serán los canales de rojo (R:red), Verde (G:green), y Azul (B:blue). Este recurso no existe en fotografía química.
- Transformaciones en la creación de fotografías digitales. El control fácil y rápido de la sensibilidad ISO ayuda a resolver los problemas de falta o exceso de luz. Las cámaras digitales favorecen por otra parte una mayor producción de fotografías, en tanto el límite del costo y la cantidad de fotogramas de las películas desaparece, quedando reducido al poco conocido dato de la vida útil del obturador digital.
- Transformaciones en la circulación y recepción de fotografías digitales. El costo por fotografía impresa (en comparación con el sistema químico) es menor; esto considerando que se pueden realizar múltiples tomas, y elegir para la impresión solamente fotografías deseadas.
- Referente a su uso en el proceso fotogramétrico, las imágenes son captadas directamente en formato digital eliminando el proceso de digitalización, estas imágenes pueden ser rápidamente transmitidas para su procesamiento.

### Desventajas:

- **Ruido electrónico:** las cámaras digitales con sensor full frame<sup>1</sup> presentan una figura de ruido mejor que la película química, especialmente en sensibilidades ISO bajas. El ruido digital es la variación aleatoria (que no se corresponde con la realidad) del brillo o el color en las imágenes digitales producido por el dispositivo de entrada (la cámara digital en este caso). Está universalmente aceptado que, así como, en la imagen analógica el grano era aceptable e incluso estético, en la fotografía digital el ruido es antiestético e indeseable.
- **Costo de las cámaras:** otra desventaja de las cámaras digitales es el costo más elevado de éstas, comparado con las máquinas convencionales, dado que ahora son pequeñas computadoras, aunque día a día esta brecha se acorta.
- **Demora en los procesos:** En algunas ocasiones las cámaras digitales se demoran mientras guardan la información del archivo en la tarjeta de memoria, impidiendo que se tomen nuevas imágenes hasta que se termine de procesar la información, esto es molesto por que algunas imágenes no se pueden capturar y se escapan mientras ocurre este proceso de archivado, esto no ocurre en la fotografía química donde el motor de arrastre es el encargado del desplazamiento de la película y de dejar la cámara lista para la siguiente toma.

### Ventajas y desventajas.

#### Ventajas:

- Gran estabilidad dimensional de imágenes.
- Visualización más fácil.
- Tratamiento por software.
- Procedimientos automáticos.
- Resultado en formato digital.
- Distribución de imágenes más fácil.

---

<sup>1</sup> Sensor full-frame o sensor de fotograma completo hace referencia al circuito sensor de imagen cuyo tamaño equivale al formato de 35mm utilizado en las cámaras clásicas, es decir, 36x24mm.

### **Desventajas:**

- Se necesita gran capacidad de almacenamiento en el disco duro mínimo de 200 gigas., por la cantidad de fotos a almacenarse (peso y resolución) además de una memoria RAM de 500 megas.
- Si existiera una cobertura vegetal, no podrá realizarse la toma por la interrupción visual del mismo. En ese caso, si es el registro de coordenadas de esos elementos, se haría necesaria una medición en campo de dichos elementos, por topografía clásica.

### **Imagen digital.**

Según el sitio <http://www.definicionabc.com> la imagen digital es una representación en dos dimensiones de una imagen empleando bits (unidad mínima de información compuesta por dígitos binarios 1 y 0), que se emplea en la informática y cualquier dispositivo de tipo digital.

Es la producción de imágenes mediante sensores electrónicos, que convierten las señales luminosas en digitales para su almacenamiento.

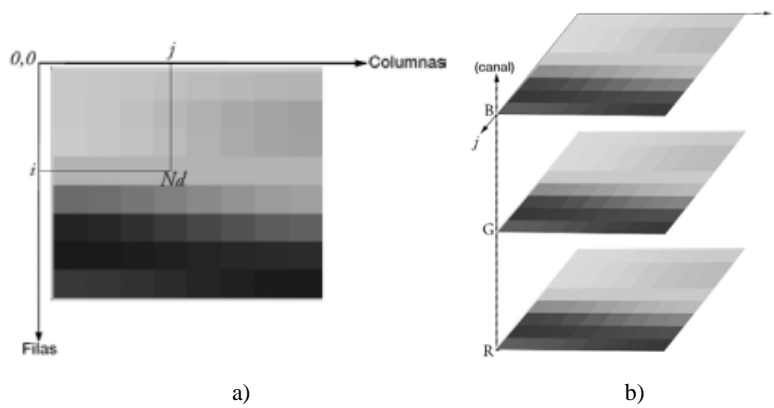
De acuerdo a la resolución que presenta la imagen, estática o dinámica, se podrá hablar de gráfico rasterizado o vectorial; de cual podemos indicar que la principal diferencia que presenta respecto de la anterior es la posibilidad de ampliar el tamaño de la imagen sin que la misma pierda su escala tal como sucede en el caso de los gráficos rasterizados, respectivamente.

Una imagen digital es una matriz bidimensional en la que cada unidad mínima de información es un píxel con coordenadas fila, columna (i,j). Cada píxel, tendrá un valor denominado Nivel Digital (Nd) que estará representado por un nivel de gris en pantalla (Figura 12a). Esta composición de la imagen digital es la que corresponde con una imagen monobanda, o lo que es lo mismo: compuesta por sólo una matriz, y que se visualizaría en niveles de gris. Sin embargo, las imágenes a color (RGB), tal y como se puede apreciar en la figura 12b, están compuestas por tres matrices, una para el color rojo (Red), otra para

el verde (Green) y otra para el azul (Blue). El almacenamiento de estas imágenes se triplica en espacio, puesto que cada matriz tiene sus propios niveles digitales.

Figura 5. Composición de una imagen digital.

(a) Imagen digital. (b) Imagen digital en RGB.



Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.

### Características de la imagen digital.

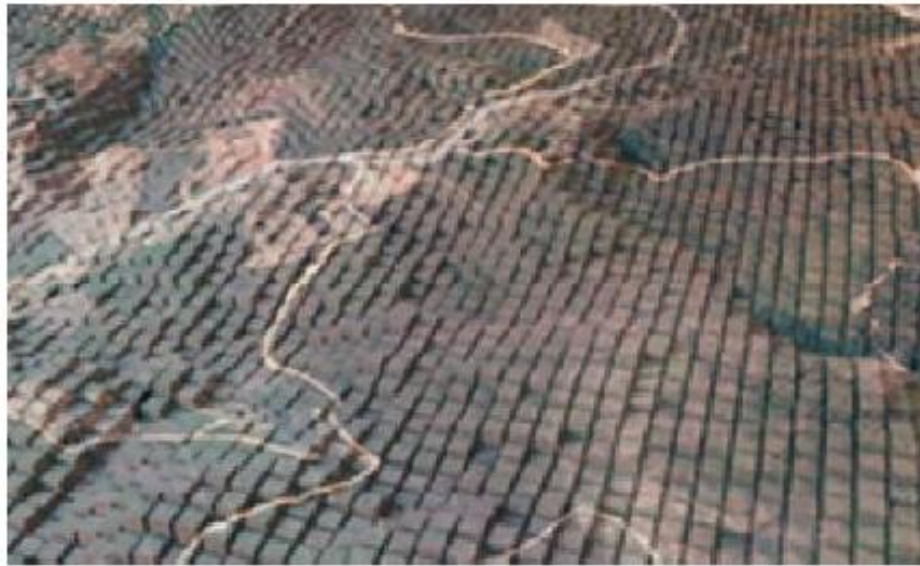
Una imagen digital puede presentar diferentes características, como información referente a las condiciones de captura, así como la resolución según el tamaño del píxel y las características internas de la cámara.

#### a. Resolución

La calidad de una imagen digital depende del tamaño del píxel, y es la denominada resolución. Si ese tamaño es demasiado grande, la imagen pierde información, pero, si por el contrario, es demasiado pequeño, la imagen tendría mucha calidad, con el inconveniente de que también necesitaría mucho espacio de almacenamiento. La unidad en la que se expresa la resolución es ppp (píxeles por pulgada)

En el caso de imágenes aéreas, la resolución se denomina espacial y tiene correspondencia directa con el tamaño del píxel en el terreno (GSD<sup>2</sup>). La figura 6 muestra gráficamente a qué se refiere el término GSD.

*Figura 6. Representación del GSD en el terreno.*



*Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.*

**Resolución temporal:** Se refiere a la frecuencia en que el sensor visita de nuevo un lugar específico.

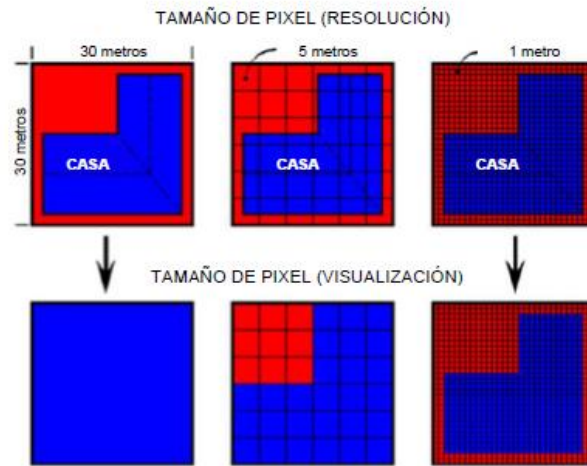
**Resolución espectral:** Por el número de bandas espectrales que registra el sensor.

---

<sup>2</sup> Ground Sample Distance.



Figura 7. Resolución espacial de una fotografía aérea según el tamaño del pixel.



Fuente: “Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil” por Elida Quirós Rosado.

**b. Dimensión.**

La dimensión de la imagen indica el ancho y el alto de la imagen. Se suele expresar en cm, pulgadas o píxeles.

**c. Profundidad del color.**

La profundidad de color corresponde con el número de bits utilizados para describir el color de cada píxel.

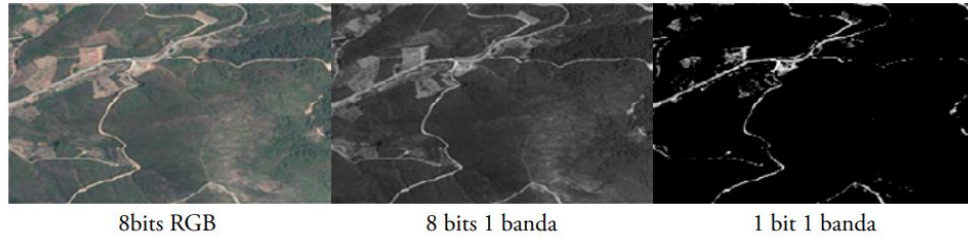
Tal y como se aprecia en la figura 8, cuanto mayor sea la profundidad, más colores habrá en la imagen. La relación entre el número de colores y la profundidad se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 2. Profundidad de color

Profundidad	Colores $2^n$
1 bit	2
4 bit	16
8 bit	256
16 bit	65536
32 bit	4294967296

Fuente: “Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil” por Elida Quirós Rosado.

Figura 8. Profundidad de color.



Fuente: “Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil” por Elida Quirós Rosado.

### 2.2.3. Vehículos aéreos no tripulados.

Son equipos aéreos pequeños capaces de transportar sensores para misiones fotogramétricas como INS (Inertial Navigation System) y GNSS (Global Navigation Satellite System). Para Acosta, (2011) un UAV es un sistema formado por un conjunto de elementos de diferentes tipos de plataformas con una estructura seleccionada que permite enlazar datos remotos. (Figura 9)

Figura 9. Ejemplo de drones.



Fuente: XDRONES

El documento Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary editado por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos define UAV como:

“Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería”.

Así en el pasado fueron denominados ROA (Remotely Piloted Aircraft), o UA (unmanned aircraft), en la actualidad suele usarse UAV.

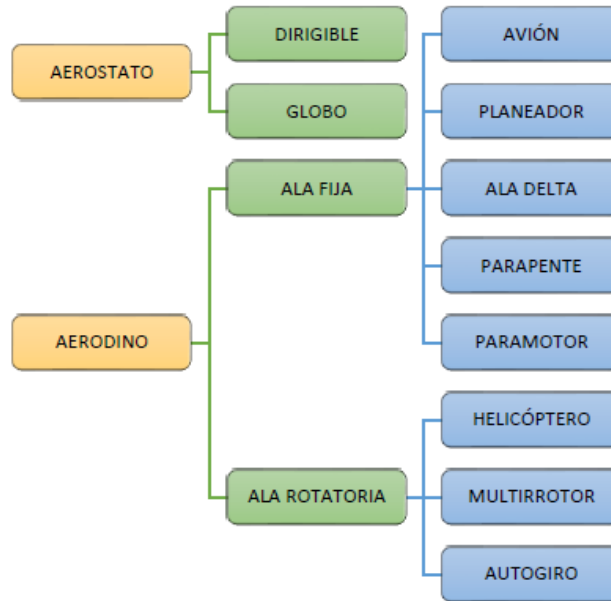
Estas denominaciones hacen referencia a la ausencia de tripulación en el vehículo, lo que no es necesariamente sinónimo de autonomía. Ya que en el intermedio de su desplazamiento existe un control o previa configuración por el técnico operador.

#### **2.2.3.1. Clasificación de aeronaves.**

Existen muchas posibles formas de clasificar las aeronaves, es frecuente utilizar una clasificación ateniendo a la forma en la que las aeronaves consiguen su sustentación en la atmósfera.

En el siguiente diagrama se plantea una posible clasificación simplificada que muestra los principales tipos de aeronaves:

Figura 10. Principales tipos de aeronaves.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Tipos de drone.



**Ala fija**



**Ala rotatoria**

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los UAV se encuentran representados todos los tipos de aeronaves posibles y al igual que ocurre en la aviación tradicional tripulada, unos tipos han tenido mayor éxito que otros.

Por otra parte aparecen categorías nuevas, como los híbridos, que desarrollan parte del vuelo en forma de ala rotatoria, general mente en el despegue y aterrizaje y posiblemente en alguna parte de la misión, aprovechando las ventajas de este tipo de sistemas, realizando una transición a ala fija para alcanzar de forma rápida y eficiente su objetivo. Aunque existen prototipos tripulados de aeronaves híbridas, posiblemente su mayor desarrollo tendrá lugar en el campo de los UAV.

Otras clasificaciones pueden estar en orden del techo máximo que alcanza la aeronave, tipo de despegue, tipo de aterrizaje y sus capacidades de vuelo (Altitud, alcance, velocidad, duración de vuelo, etc.) así como su sistema de propulsión.

#### UAV de ala fija.

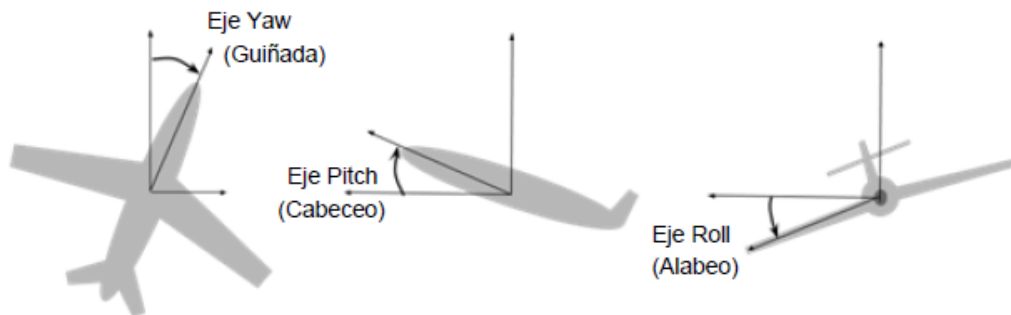
Este se compone de un ala rígida que tiene una superficie de sustentación predeterminada, que hacen capaz el vuelo debido a la elevación causada por la velocidad de avance del UAV. Esta velocidad es generada por un empuje hacia adelante, por lo general, por medio de una hélice (girada por un motor de combustión interna o un motor eléctrico).

El control del UAV proviene de las superficies de control integradas en el ala en sí, éstos tradicionalmente consisten en alerones, un ascensor y un timón.

Permiten al UAV girar libremente alrededor de tres ejes que son perpendiculares el uno al otro y se intersectan en el centro de gravedad del UAV.

Suponiendo que la cámara está montada de tal manera que el eje x de la cámara apunta hacia el ala derecha, el eje y está apuntando hacia la cola y la lente esté apuntando hacia abajo, los ángulos yaw, pitch y roll se definen como se muestra en la figura 12. El ascensor permite controlar el Pitch (eje lateral), los alerones controlan el roll (eje longitudinal) y el timón el control del yaw (eje vertical).

Figura 12. Representación del giro de la aeronave durante el vuelo.



Fuente: Elaboración propia.

Un UAV de ala rotatoria consiste en 2 o 3 palas de rotor que giran en torno a un mástil fijo, esto se conoce como un rotor. Estos vienen en una amplia gama de configuraciones que constan de un mínimo de un rotor (helicóptero), 3 rotores (tricopter), 4 rotores (quadcopter), 6 rotores (hexacopter), 8 rotores (octocopter), así como configuraciones más inusuales como 12 y 16 rotores.

Las palas del rotor funcionan exactamente de la misma manera que un ala fija, sin embargo, no es necesario un movimiento de avance constante para producir flujo de aire sobre las cuchillas. Las cuchillas en constante movimiento producen el flujo de aire requerido sobre su superficie de sustentación para generar la elevación.

El control de vehículos aéreos de ala rotatoria proviene de la variación en el empuje y el par de rotores de ella. por ejemplo, el pitch hacia abajo de un quadcopter se genera a partir de que los rotores traseros producen más empuje que los rotores en la parte delantera, esto permite que la parte trasera del quadcopter se eleve más que la parte delantera produciendo así una actitud “nariz hacia abajo”. El movimiento del yaw utiliza la fuerza de torsión del rotor, donde rotores diagonales producen un desequilibrio en los ejes, causando que el quadcopter gire sobre el eje vertical.

#### UAV de ala rotatoria.

Un UAV de ala rotatoria consiste en 2 o 3 palas de rotor que giran en torno a un mástil fijo, esto se conoce como un rotor. Estos vienen en una amplia gama de configuraciones

que constan de un mínimo de un rotor (helicóptero), 3 rotores (tricopter), 4 rotores (quadcopter), 6 rotores (hexacopter), 8 rotores (octocopter), así como configuraciones más inusuales como 12 y 16 rotores.

Las palas del rotor funcionan exactamente de la misma manera que un ala fija, sin embargo, no es necesario un movimiento de avance constante para producir flujo de aire sobre las cuchillas. Las cuchillas en constante movimiento producen el flujo de aire requerido sobre su superficie de sustentación para generar la elevación.

El control de vehículos aéreos de ala rotatoria proviene de la variación en el empuje y el par de rotores de ella. por ejemplo, el pitch hacia abajo de un quadcopter se genera a partir de que los rotores traseros producen más empuje que los rotores en la parte delantera, esto permite que la parte trasera del quadcopter se eleve más que la parte delantera produciendo así una actitud “nariz hacia abajo”. El movimiento del yaw utiliza la fuerza de torsión del rotor, donde rotores diagonales producen un desequilibrio en los ejes, causando que el quadcopter gire sobre el eje vertical.

### Ventajas y Limitaciones de cada tipo

Cada una de estas categorías se puede romper más abajo, por ejemplo, un UAV de ala fija puede ser de ala alta, media ala, ala baja y ala volante, otra vez cada uno con sus propias ventajas y desventajas características únicas. Se definirán las diferencias “de primer nivel” entre los dos.

Tabla 3. Ventajas y limitaciones del uso de los tipos de UAV.

TIPO	VENTAJAS	LIMITACIONES
UAV DE ALA FIJA	Son capaces de llevar mayores cargas útiles por distancias más largas con menos potencia. Lo que le permite llevar sensores de mayor tamaño.	Las aeronaves de ala fija requieren aire en movimiento sobre sus alas para generar la elevación. Por lo que deben permanecer en un constante movimiento hacia adelante.
	Se compone de una estructura mucho más simple en comparación con un ala rotatoria. Por lo que el proceso de mantenimiento y reparación es menos complicado. Debido a que su estructura aerodinámica es simple y más eficiente, se pueden realizar vuelos más largos a velocidades más altas, permitiendo así cubrir áreas más grandes por cada vuelo.	UAV de ala fija no son adecuados para aplicaciones estacionarias como el trabajo de inspección. Se tiene la necesidad de una pista o lanzador para el despegue y el aterrizaje.
UAV DE ALA ROTATORIA	La mayor ventaja de los UAV de ala rotatoria es la capacidad para despegar y aterrizar verticalmente. Esto permite al usuario operar con un área más pequeña de aterrizaje/despegue.	El avión de ala rotativa implica una mayor complejidad mecánica y electrónica que se traduce generalmente a procesos más complicados de mantenimiento y reparación. Lo que significa que el tiempo de operación del usuario puede disminuir y aumentarse los costos operativos.

Su capacidad para flotar y realizar maniobras ágiles hace a los UAVs de ala giratoria muy adecuados para aplicaciones como inspecciones donde se requieren maniobras precisión y la capacidad de mantener contacto visual en un solo objetivo, durante largos períodos de tiempo.

Debido a sus velocidades más bajas y tiempo de vuelo más corto el operador requerirá muchos vuelos adicionales para inspeccionar las áreas significativas, otro aumento en el tiempo y los costes operativos.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.3.2. Principales UAV's usados en la ingeniería.

#### Trimble UX5.

Aeronave no tripulada de ala fija, con una resolución espacial mínima de 2.54 cm y máxima de 25.4 m utilizada para diversas aplicaciones. Recopila grandes cantidades de datos en un tiempo relativamente corto.

Sigue una trayectoria pre programada donde el despegue, vuelo y aterrizaje requieren de una intervención manual mínima.

El cuerpo interno es de carbono y la cubierta de polipropileno expandido.

*Figura 13. Trimble UX5*



*Fuente: <https://geotronics.es/productos/aeronaves-no-tripuladas/trimble-ux5>*

*Tabla 4. Especificaciones Trimbe UX5*

HARDWARE	
<b>Tipo</b>	Ala Fija
<b>Peso</b>	2,5 Kg
<b>Envergadura</b>	1 m
<b>Superficie alar</b>	34 dm <sup>2</sup>
<b>Dimensiones</b>	100 cm x 65 cm x 10'5 cm
<b>Material</b>	Espuma de polipropileno expandido; estructura de fibra de



	carbono; materiales compuestos
<b>Propulsión</b>	Hélice eléctrica inversa; motor sin escobillas de 700 W
<b>Batería</b>	14'8 V, 6000 mAh
<b>Cámara</b>	16'1 MP, sin espejo, sensor APSC, con objetivos personalizados de 15 mm
<b>Controlador</b>	Robusta Trimble Tablet PC
<b>OPERACIÓN</b>	
<b>Autonomía</b>	50 minutos
<b>Alcance</b>	60Km
<b>Velocidad crucero</b>	80km/h
<b>Techo de vuelo máximo</b>	5000m
<b>Tiempo de configuración previo al vuelo</b>	5 minutos
<b>Limite climático</b>	65 km/h y lluvia ligera
<b>Comunicación y frecuencia de control</b>	2.4 GHz
<b>Comunicación y distancia de control</b>	Hasta 5 Km
<b>CAMARA SONY NEX- 5R</b>	
<b>Tamaño</b>	23.5 x 15.6 mm
<b>Peso</b>	218 gramos
<b>Tamaño de la imagen</b>	4912 x 3264 pixeles
<b>Distancia focal</b>	15.5172 mm
<b>Resolución</b>	16.1 MP
<b>Ángulo de visión</b>	75.87 grados
<b>DESPEGUE</b>	
<b>Tipo</b>	Catapulta de lanzamiento
<b>Angulo</b>	30 grados
<b>ESPACIO DE ATERRIZAJE (L X A)3</b>	
<b>Típico</b>	20m x 6m
<b>Recomendado</b>	50m x 30m
<b>RENDIMIENTO DE LA ADQUISICIÓN</b>	
<b>Resolución (GSD)</b>	De 2,4 cm a 24 cm
<b>Altura sobre la ubicación de despegue (AGL)</b>	De 75 m a 750 m

Fuente: Ficha técnica Trimble UX5 <https://geotronics.es/productos/aeronaves-no-tripuladas/trimble-ux5>

### DJI Phantom 4 pro.

Es un UAV muy amigable de fácil despegue y aterrizaje, en cuanto al vuelo estacionario los sistemas GPS (Global Positioning System) y GLONASS (Global Navigation Satellite System), hacen que el equipo sea consciente en todo momento de su ubicación con más exactitud, por ello se mueve con más precisión y conecta satélites con rapidez, además permite grabar el punto de despegue para poder de este modo regresar el equipo con solo presionar el botón de retorno.

*Figura 14. UAV DJI Phantom 4 pro*



Fuente: <https://www.dji.com/phantom-4-pro>

Tabla 5. Especificaciones DJI Phantom 4 Pro.

<b>Aeronave</b>	
Tiempo de vuelo máximo	Aprox. 30 minutos.
Sistema de visión	Sistema de visión delantera, Sistema de visión hacia atrás, Sistema de visión hacia abajo.
Detección de Obstáculos	Evitación de obstáculos delantera y trasera Izquierda y derecha, infrarrojo, Obstáculo evitación.
Sensor de cámara	1 " CMOS Píxeles efectivos: 20 m.
Max. Resolución de grabación de video	4K 60P.
Distancia máxima de transmisión	FCC: 4.3 mi.
Sistema de transmisión de video	Light bridge.
Frecuencia de operación	2.4 GHz / 5.8 GHz* La transmisión de 5.8 GHz no está disponible en algunas regiones debido a las regulaciones locales.
Tiempo de vuelo máximo	Aprox. 30 minutos.
Sistema de visión	Sistema de visión delantera, atrás y abajo.
<b>CAMARA</b>	
Sensor	1 " CMOS, píxeles efectivos: 20m.
Lente	FOV 84 ° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f / 2.8 - f / 11 enfoque automático a 1 m - ∞
Rango ISO	Video: 100 - 3200 (Auto), 100 - 6400 (Manual), Foto: 100 - 3200 (Auto), 100 - 12800 (Manual).
Velocidad de obturación mecánica	8 - 1/2000 s
Velocidad de obturador electrónica	8 - 1/8000 s
Tamaño de la imagen	3: 2 Relación de aspecto: 5472 × 3648; 4: 3 Relación de aspecto: 4864 × 3648; 16: 9 Relación de aspecto: 5472 × 3078
Tamaño de imagen de PIV	4096 × 2160 (4096 × 2160 24/25/30/48 / 50p), 3840 × 2160 (3840 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p), 2720 × 1530 (2720 × 1530 24/25/30/48 / 50 / 60p), 1920 × 1080 (1920 × 1080 24/25/30/48/50/60 / 120p), 1280 × 720 (1280 × 720 24/25/30/48/50/60 / 120p).
Modos de fotografía fija	Disparo de ráfaga de disparo único: 3/5/7/10/14 cuadros, Horquillado automático de exposición (AEB): 3/5 cuadros entre corchetes a 0.7 EV , Intervalo de polarización: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s.
<b>MANDO DE CONTROL REMOTO</b>	
Frecuencia de operación	2.400 - 2.483 GHz y 5.725 - 5.825 GHz
Distancia máxima de transmisión	2.400 - 2.483 GHz (sin obstrucciones, sin interferencia), FCC: 4.3 mi (7 km), CE: 2.2 mi (3.5 km), SRRC: 2.5 mi (4 km), 5.725 - 5.825 GHz (sin obstrucciones, sin interferencia), FCC: 4.3 mi (7 km), CE: 1,2 mi (2 km), SRRC: 3,1 mi (5 km).
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Batería	6000 mAh LiPo 2S
Potencia del transmisor (EIRP)	2.400 - 2.483 GHz, FCC: 26 dBm, CE: 17 dBm, SRRC: 20 dBm, MIC: 17 dBm, 5.725 - 5.825 GH, FCC: 28 dBm, CE: 14 dBm, SRRC: 20 dBm, MIC: -
Corriente / voltaje de funcionamiento	1.2 A @ 7.4 V
<b>BATERIA DE VUELO INTELIGENTE</b>	
Capacidad	5870 mAh
voltaje	15.2 V
Tipo de Batería	LiPo 4S
Energía	89.2 Wh
Peso neto	468 g
Rango de temperatura de carga	41 ° a 104 ° F (5 ° a 40 ° C)
Potencia máxima de carga	160 W

Fuente: Ficha técnica DJI Phantom 4 professional <https://www.dji.com/phantom-4-pro/info#specs>

### **2.2.3.3. Usos de los vehículos aéreos no tripulado.**

Como tantas otras tecnologías, el desarrollo inicial de los UAV ha tenido lugar fundamentalmente en el ámbito militar. En el ejército norteamericano constituyen alrededor de un tercio del total de la flota de aeronaves en operación y desempeñan en exclusiva todas las misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR por sus siglas en inglés) que llevan a cabo las fuerzas armadas, habiendo desplazado totalmente a los medios aéreos convencionales.

Se utilizan en misiones que van desde reconocimiento, observación y vigilancia hasta bombardeos, enlace de comunicaciones en relevo y complemento de comunicaciones satelitales. Los avances en esta área han permitido la integración de modelos UAV menos avanzados, pero no menos útiles, a diversas aéreas de aplicación civil.

Los drones se manejan con control remoto (tipo joystick) o a través de aplicaciones para smartphones o tablets. Actualmente hay diferentes apps desarrolladas para iOS, Android y hasta Linux para pilotear un drone, sacar fotos y filmar. Las empresas que se dedican al desarrollo de este producto tienen como objetivo hacerlo cada vez más intuitivo y fácil de usar para todos los públicos.

Algunos usos de estas aeronaves son:

- Fotografía y video para fines de marketing y publicitarios (tomas aéreas en películas y coberturas deportivas).
- Lucha contra incendios, mediante la detección de gases y productos tóxicos y el reconocimiento previo de la zona.
- Monitorización del tráfico (Revisión del uso y rendimiento de la red de carreteras).
- Asistencia en servicios de salvamento y rescate más barata y segura.
- Control de ganado.
- Vigilancia.
- Control de infraestructuras, como carreteras, canales, aeropuertos, redes ferroviarias.
- Topografía (Minería, movimientos de tierra, desarrollo urbano, etc.) y cartografía.
- Estudio de geomorfología, (Predicción de terremotos, previsión de deslizamientos de tierra, etc.).

### UAV's en la Ingeniería Civil.

Entre los UAV los drones son, relativamente, de más fácil adquisición y son también objeto de estudio de la presente investigación. Algunas aplicaciones de los drones dentro del campo de la ingeniería civil:

- Aplicaciones al control de calidad del aire.
- Aplicaciones cartográficas. Mediante la creación de mapas catastrales a través de la digitalización de las ortofotografías georreferenciadas.
- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales.
- Aplicaciones hidrológicas.
- Aplicaciones en agricultura. Como identificación de tipos de cultivo, recuento de plantas, medición del índice de área foliar, identificación de tipos de suelo y humedad de suelo, medición de la altura de la planta, control de deficiencias de nitrógeno, estimación de la biomasa, etc.
- Aplicaciones en el control de obras y evaluación de impactos.
- Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural.
- Aplicaciones urbanísticas.

El conocimiento topográfico y cartográfico, del terreno o zona de estudio, está relacionado con el posible desarrollo urbanístico, gestión del patrimonio, hidrología, explotación de recursos minerales y otros más.

#### **2.2.3.4. Beneficios y limitaciones.**

##### Beneficios.

- Los beneficios de este tipo de aeronaves pueden resumirse según los siguientes aspectos:
- No arriesgan vidas humanas en cualquiera de sus aplicaciones.
- No están limitados por las capacidades humanas en cuanto a aceleraciones (fuerzas G) ni tiempos de misión.

- No están sujetos a ninguna necesidad ergonómica, el espacio de la cabina de mando puede ser utilizado para albergar todo tipo de sistemas de comunicación, control u operación.
- Fácil y rápido despliegue en misión.
- Operación en tiempo real a nivel táctico, operacional y estratégico.
- Reducen el tiempo de entrenamiento.
- Adaptabilidad a diversos cometidos gracias a sus cargas útiles modulares.
- Gran maniobrabilidad y poder de acceso a sitios inaccesibles para vehículos tripulados.
- Menor peso, menor consumo.
- Menor impacto ambiental tanto de contaminación (menores emisiones de CO2) como de ruido.
- Menor coste de mantenimiento y elevada relación coste/eficiencia
- Elevada movilidad, discreción y sigilo.

#### Limitaciones.

A pesar de las enumeradas ventajas de la implementación del equipo tanto en el ámbito civil como militar, esta presenta algunas limitaciones actualmente:

- Dependencia de una estación de control en tierra (según su grado de autonomía).
- Vulnerabilidad y limitada capacidad de defensa.
- Limitaciones de peso y volumen de equipos a bordo.

#### **2.2.3.5. *Sistemas de navegación.***

El uso de sistemas aéreos no tripulados (UAS por sus siglas en inglés) para generar cartografía catastral a través de fotogrametría, proporciona una herramienta para la adquisición de datos, de dónde se despliega un sin número de aplicaciones y puede ser utilizado para minería, industria, topografía y monitoreo de condiciones ambientales.

Figura 15. Sistemas de navegación (UAS)



Fuente: pix4d.com

### Navegación a simple vista con cartografía disponible.

Se representan los ejes de vuelo o pasadas y los puntos principales de los fotogramas, sobre los mapas-índices, con el menor error posible. Mediante UAV se podrá realizar a través de apoyo terrestre mediante una navegación guiada por puntos de referencia conocidos (puntos cardinales, alineamientos, etc.). En la fotogrametría tradicional el navegante tratará de seguirlos ayudado por las indicaciones de un telescopio de navegación, que permite usar referencias hacia adelante y hacia atrás.

### Navegación a simple vista sin cartografía previa.

En casos donde la cartografía de la zona esté muy atrasada, sea inexacta o no exista se recurre a algún método "sin mapa", para obtener una completa cobertura fotográfica. Existen diversos métodos de navegación sin cartografía, entre los cuales están:

- **Sobrevuelo a mayor nivel:** Se usa este método cuando la zona de trabajo es relativamente pequeña (ciudades, áreas de ríos, pequeños proyectos de desarrollo, emplazamiento de presas, etc.).

Este método consiste en fotografiar inicialmente la zona de trabajo desde una gran altitud y a menor escala; esto podrá realizarse de modo que se obtengan los mejores resultados posibles. Sobre las fotografías obtenidas anteriormente, se marcan las pasadas fotográficas a la escala correcta elegida para el vuelo final, ejecutando el vuelo basándose en la información obtenida.

- **Navegación de línea lateral:** Es el método más simple desde el punto de vista de la planificación, pero exige un gran respaldo en cuanto a producción fotográfica. Se basa en una o más pasadas principales que van a ser usadas para lo que se llama seguimiento de la línea lateral. De nuevo el bloque se planifica más grande de lo necesario. Se realiza un vuelo de reconocimiento previamente para pruebas de exposición y planificación de la pasada principal. Efectuadas estas pruebas, se procede a la toma de las fotografías de la pasada principal con las especificaciones correctas para el vuelo; al final de la pasada la aeronave vuelve a la base y se procesan las fotografías. Se forma la pasada trazando una línea central (eje de vuelo) y a partir de ésta se trazan dos ejes paralelos con el recubrimiento lateral especificado. Una vez que están marcadas las dos nuevas pasadas se vuelve a realizar otro vuelo para la obtención de los fotogramas de las nuevas pasadas. El navegante usará como referencia para la toma de estas nuevas fajas, la línea del recubrimiento lateral, de esta forma tendrá una información terrestre visible en el área de recubrimiento. Efectuadas estas nuevas tomas, la aeronave vuelve a la base, se obtienen las fotografías y sobre estas nuevas tomas se repite el proceso.

### Sistemas de navegación avanzados.

Los sistemas electrónicos de navegación están basados en el conocimiento de las coordenadas de la aeronave respecto al terreno en cada momento del desarrollo del vuelo, con el fin de conducir automáticamente al vehículo a los puntos de exposición aérea, previamente establecidos en el planeamiento de vuelo. Dentro de estos sistemas destacan los siguientes:

- **VLF/Omega:** El usuario introduce la posición exacta del avión en coordenadas geográficas antes del despegue y los sistemas calculan los movimientos X e Y relativos a partir del despegue, presentando al usuario la posición y velocidad con respecto a la tierra y los errores de trayectoria, incluyendo la deriva. Este sistema se basa en el principio de " volar desde".
- **Doppler:** Basado en el radar Doppler y con el mismo principio que el anterior, este sistema controlado por el navegante mide la distancia y rumbo desde una posición de partida conocida.



- **INS (Sistema de navegación inercial):** Basado también en el principio de "volar desde", este sistema hace uso de los cambios relativos de dirección medidos dentro del avión, para estimar las coordenadas X e Y desde un punto de partida conocido.
- **La tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System):** cuyo sistema más conocido, que no el único, es el GPS (Global Positioning System) permite determinar las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre con gran precisión. El GPS en la actualidad es uno de los sistemas más utilizado en la realización de vuelos fotogramétrico, ya que permite obtener en modo cinemático posiciones en coordenadas X, Y, Z del orden del 0.5 m, permitiendo ser utilizado tanto en labores de navegación como en labores de obtención de ciertos elementos de la orientación externa, coordenadas de los centros de proyección ( $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$ ), permite la generación automática de los gráficos de vuelo.

Los sistemas más utilizados en UAVs son los sistemas de navegación avanzada como el GPS y el INS.

#### **2.2.4. Integración tecnológica.**

La aparición y difusión de los avances tecnológicos a lo largo de historia han permitido crear entornos de trabajo y equipos totalmente nuevos. En la ingeniería civil, estos avances están produciendo cambios importantísimos en las técnicas de trabajo, que se concretan por una parte en el aumento de forma exponencial del volumen de información accesible y el tiempo requerido para realizar las actividades.

La necesidad de la ingeniería civil de resolver los inconvenientes y los problemas del desarrollo físico y de infraestructura de la sociedad supone la necesidad de actualización permanente, es decir, de diseñar y utilizar nuevos métodos para ejecutar proyectos civiles.

De la integración/adaptación de tecnologías en el área de fotogrametría tenemos instrumentos (drones) con menor costo de adquisición y operación y que según el alcance del proyecto presentan mayor rentabilidad y mejores resultados en un tiempo más corto.

La valencia del drone dentro de esta tarea fotogramétrica dependerá de la cámara y del sistema de estabilización de la misma.

Según las características del drone este puede equiparse con una cámara para la recolección de fotografías, así como de equipo para recolectar información del vuelo.

### Cámara.

La cámara fotogramétrica es un elemento fundamental en el proceso fotogramétrico. Las cámaras que se utilizan son cámaras métricas, calibradas y con una geometría tal que producen resultados óptimos y fiables.

Las cámaras aéreas analógicas se han utilizado hasta la actualidad, pero comienzan ya a quedar obsoletas, sustituidas por la nueva generación de cámaras digitales.

No obstante, estudiaremos ambos tipos de cámaras para, posteriormente compararlas y detallar sus ventajas e inconvenientes.

Según el tipo de cámara estas fotografías pueden contener información más amplia del terreno. Algunos programas de restitución fotogramétrica recomiendan parámetros internos específicos de la cámara destinada a usarse según la naturaleza del proyecto. Aunque esta no es una limitante para la utilización de las cámaras, el seguir esta consideración permitirá obtener mejores resultados.

*Tabla 6. Distancia Focal de la cámara recomendada por Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076 según el tipo de proyecto.*

Aplicación	Recomendación	Motivo
Mapeo: Proyecto aéreo con un altura de vuelo sobre 50 metros.	Lentes de Perspectiva: entre 8.8 mm y 24 mm de distancia focal (formato equivalente de 35mm).	Para asegurar una buena GSD que permitirá una alta precisión en los resultados.
Interiores / Reconstrucción 3D de corto rango.	Lentes de Ojo de Pez: Distancia focal muy baja.	Flexibilidad para la adquisición de imágenes: Asegurando un traslape alto.

Fuente: <http://www.agisoft.com/>

### **Cámaras fotogramétricas análogas.**

Las cámaras fotogramétricas analógicas son aquellas cámaras en las que la imagen se registra de forma instantánea en una película fotográfica.

### **Cámaras fotogramétricas digitales.**

En una cámara digital, el plano focal de la cámara es sustituido por un sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen (CCD)

La forma de disposición de los CCD da lugar a dos tipos de cámaras fotogramétricas digitales:

- **Cámaras lineales:** La cámara dispone de tres líneas paralelas de 12 Kilobyte (12K) sensores, trasversales a la dirección de vuelo. Dichas líneas tienen diferentes inclinaciones: delantera, nadiral y posterior.
- **Cámaras matriciales:** Este tipo de sensores es similar a las cámaras aéreas analógicas en cuanto a composición. Las cámaras matriciales constan de 1Kx1K elementos sensoriales (1024x1024 píxeles), 2Kx2K, 3Kx2K, 4Kx4K, 4Kx7K, 7Kx9K, 5Kx10K, 9Kx9K.

Estas cámaras al ser digitales, pueden capturar información de distintas partes del espectro electromagnético, no sólo en el visible<sup>3</sup>.

### **Comparación de ambas cámaras.**

Las ventajas de las cámaras digitales con respecto a las analógicas son muchas. La principal es que, al no necesitar ser digitalizadas para trabajar con los restituidores digitales, se evita un proceso en el que se introducen errores, tanto geométricos como radiométricos, que influyen en gran medida en la calidad de los productos fotogramétricos finales. Otras cuestiones no menos importantes son la vulnerabilidad de los negativos con el paso del tiempo, la necesidad de un almacenaje adecuado, etc.

---

<sup>3</sup> Se llama espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. un típico ojo humano responderá a longitudes de onda de 390 a 750 nm.

Ya dentro del formato digital, la elección de la cámara es una cuestión complicada. No obstante, no suele ser el usuario el que realice dicha elección ya que ésta es una cuestión inherente a la empresa que elijamos para el vuelo fotogramétrico. Cada empresa trabaja normalmente, sólo con un tipo de cámara.

Se muestran a continuación las ventajas y desventajas de ambos sistemas.

### Lineales:

Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de las cámaras lineales.

Ventajas	Desventajas
Registro continuo de todo el terreno desde tres puntos de vista.	Sistema GPS: dependiente de estaciones en tierra a menos de 30Km.
Mayor resolución (Figura 16).	El objetivo ha de estar abierto permanentemente.
No necesitan mucha corrección radiométrica.	Es necesario implementar un nuevo flujo de trabajo (ya no existen modelos estereoscópicos) y de software.

Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.

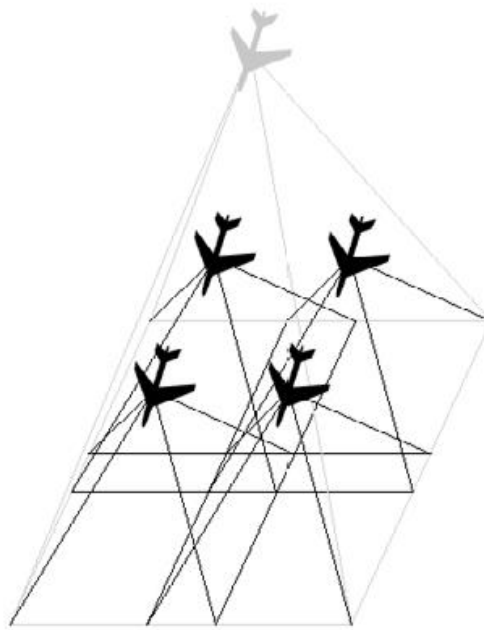
### Matriciales:

Tabla 8. Ventajas e inconvenientes de las cámaras matriciales.

Ventajas	Desventajas
Su geometría es igual a la de las fotografías analógicas	Tienen menor resolución.
No necesitan sistemas GPS	

Fuente: "Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil" por Elida Quirós Rosado.

Figura 16. Ventaja de las cámaras lineales con respecto a las matriciales.



Fuente: “Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil” por Elida Quirós Rosado.

### Software de fotogrametría.

La fotointerpretación es una herramienta muy útil para realizar la cartografía de un área, ya que permite determinar los elementos que intervienen en el terreno y medir sobre fotografías. Por lo que para el posterior manejo de los datos y la elaboración de la cartografía se pueden utilizar tres tipos de programas:

- Los programas orientados al Diseño Asistido por Ordenador (CAD), que son herramientas de diseño capaces de generar dibujos 2D y modelados 3D, que se basan en entidades geométricas vectoriales como líneas, puntos, arcos y polígonos.
- Los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten combinar y relacionar diferentes elementos georreferenciados en el espacio.
- Programas para teledetección que además de captar imágenes aéreas georreferenciadas permiten recoger imágenes de diferentes bandas del espectro electromagnético. Esto quiere decir que se obtiene información de la superficie

que a simple vista no se podría captar ya que nuestros ojos solo permiten ver el espectro visible. Dependiendo del procesamiento informático que se haga en cada una de las bandas espectrales se mostrarán unos elementos u otros.

De los cuales se mencionan los siguientes programas sin desmerecer su grado de importancia ni costo:

### **AutoCAD.**

Es un software CAD utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

### **AUTODESK 3DS MAX (anteriormente 3D Studio Max)**

Es un programa de creación de gráficos y animación 3D desarrollado por Autodesk, en concreto la división Autodesk Media & Entertainment (anteriormente Discreet). Creado inicialmente por el Grupo Yost para Autodesk, salió a la venta por primera vez en 1990 para DOS.

3ds Max, con su arquitectura basada en plugins, es uno de los programas de animación 3D más utilizado, especialmente para la creación de videojuegos, anuncios de televisión, en arquitectura o en películas.

### **ICROSTATION**

Sistema CAD para el tratamiento y edición de vectores. Una de sus funciones es la realización de la limpieza y creación topológica.

### **ARCGIS**

Es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS

Server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo.

### **AGISOFT PHOTOSCAN**

Es un software de escritorio para procesar imágenes digitales y, mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, generar una reconstrucción 3D del entorno. Existen dos versiones diferentes. La versión estándar está pensada para usuarios casuales que desean generar nubes de puntos a partir de múltiples imágenes. La versión profesional incluye funcionalidades específicas para la generación de productos geomáticos.

### **GOOGLE SKETCHUP**

Su principal característica es la de poder realizar diseños complejos en 3D de forma extremadamente sencilla. El programa incluye entre sus recursos un tutorial en vídeo para ir aprendiendo paso a paso cómo se puede ir diseñando y modelando el propio ambiente. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante. Además el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

### **PHOTOMODELER SCANNER**

Photomodeler es un software de reconstrucción 3D a partir de fotografías de un objeto o edificio. Se basa en el modelo de malla de polígonos, por el cual se designan puntos manualmente en las fotografías (normalmente vértices), y el programa calcula el punto de vista de cada fotografía y sitúa el objeto en un espacio de tres dimensiones virtual mediante triangulación. El programa es capaz de orientar las fotografías, crear puntos, rectas y planos y extraer texturas de las fotografías. El resultado se puede exportar después a otros programas como AutoCAD, Image Model, Rhino, Google SketchUp, etc.

### **Pix4D Mapper**

Pix4D Mapper es un software especializado en fotogrametría que permite convertir imágenes en modelos 3D y ortomosaicos 2D georreferenciados.

La creación de proyectos en Pix4D se realiza a partir de conjuntos de imágenes tomadas de forma terrestre o aérea según el tipo de proyecto, haciendo posible el tratamiento de fotografías adquiridas diversas formas.

El software definitivo para evaluar, corregir y mejorar los proyectos directamente en el software e importar los resultados a cualquier solución profesional de GIS, CAD o paquete tradicional de software de fotogrametría.

El costo de la licencia de este software es de 350 dólares mensuales y 3500 dólares anuales o 4990 dólares en una versión perpetua. (<https://cloud.pix4d.com/store/>)

Pix4D Mapper permite procesar imágenes adquiridas con cámaras compactas ligeras, DSLR, de gran formato, de acción y con soportes.

*Figura 17. Tipos de cámara soportados por Pix4D*



*Fuente: Pix4D mapper software*

Para la creación de mapas 3D el programa utiliza como imágenes de entrada cualquier fotografía aérea adquirida usando un plan de vuelo, sobre todo orientadas hacia el suelo.

En la etapa inicial del procesamiento Pix4D Mapper hace una triangulación aérea que permite la búsqueda de coincidencias entre fotografías para hacer emparejamientos y crear puntos de paso.



La segunda parte del procesamiento consiste en la densificación de la nube de puntos creada, donde es posible clasificar estos puntos entre terreno y objetos, según las dimensiones de cada conjunto de puntos. Luego de la densificación se crea la malla 3D texturizada, que es un modelo en tres dimensiones del terreno, donde son triangulados los puntos densificados de la nube.

Posterior a la segunda etapa se procede a la creación del ortomosaico, una composición de imágenes a la que se le han corregido todos los errores geométricos para que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular.

El software permite salidas en diferentes formatos digitales de los productos generados en las diferentes etapas, para poder darles un tratamiento en otros programas.

### **2.3. Bases Normativas:**

#### **LEY 30740**

Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), norma que denomina a los drones como RPA, o RPAS (remotely piloted aircraft) el cual no requiere de permisos ni licencias si el equipo no supera los 2 kg. de peso.

### **2.4. Definición de Términos Básicos:**

- **Drone, RPAs, UAV, UAS, RPA:** Denominada a aeronaves no tripuladas de control remota a distancia.
- **Agrimensura:** Parte de la topografía que se ocupa de la determinación de las superficies agrarias (planimetría) y de los límites de los terrenos.
- **Azimut:** Ángulo que forma una línea con la dirección Norte-Sur, medida de 0° a 360° en el sentido de las manecillas del reloj.
- **Calidad:** Grado con el que un conjunto de características inherentes cumple los requisitos.

- **Cámara digital:** Según Acosta, J. (2011), es una cámara fotográfica que, en vez de capturar y almacenar fotografías en películas fotográficas como las cámaras fotográficas convencionales, lo hace digitalmente mediante un dispositivo electrónico o cinta magnética usando un formato analógico como muchas cámaras de video.
- **Cartografía:** Ciencia que tiene por objeto la realización de mapas, y comprende el conjunto de estudios y técnicas que intervienen en su establecimiento. La cartografía es el único procedimiento gráfico que permite una representación del espacio geográfico mediante la escala y los sistemas de proyección. Los resultados se representan en Mapas y Planos en función de la escala a la que se representen, siendo los mapas una interpretación gráfica simplificada de la realidad. ya se ha indicado que los formatos en los que se puede procesar la información son diversos, desde formato vectorial (puntos, líneas o polígonos), formato ráster u ortoimágenes, todos en ellos en dos dimensiones. Pero también se puede visualizar la información en una tercera dimensión, mediante la creación de modelos 3D. Toda representación gráfica debe ir acompañada de escala, sistemas de coordenadas y leyenda de los elementos que aparecen en el área cartografiada.
- **Cota:** Cifra que representa la altitud de un punto con respecto a la superficie de nivel de referencia.
- **Curva de Nivel:** Línea curva en la cartografía y que representa igual cota de elevación del terreno.
- **DXF, DGN, DWG:** Formatos de Archivos de diseño utilizados para la creación de cartas topográficas y de entidades para ser utilizadas en distintos Sistemas de Información Geográfica y CAD.
- **Estación:** Punto materializado en el terreno y a menudo indicado por una señal, donde se coloca el instrumento de observación para efectuar medidas topográficas o geodésicas.
- **Estación Total:** Instrumento de medición topográfica, de precisión que funciona de manera electrónica.
- **Exactitud:** Grado de concordancia entre el resultado de una prueba y el valor de referencia aceptado.

- **Exactitud posicional:** Proximidad del valor de la coordenada respecto al valor verdadero o aceptado en un sistema de referencia especificado.
- **Geofísica:** Es la ciencia que aplica los principios físicos al estudio de la Tierra. Los geofísicos examinan los fenómenos naturales y sus relaciones en el interior terrestre. Entre ellos se encuentran el campo magnético terrestre, los flujos de calor, la propagación de ondas sísmicas y la fuerza de la gravedad. La geofísica, tomada en un sentido amplio, estudia también los fenómenos extraterrestres que influyen sobre la Tierra, a veces de forma sutil, y las manifestaciones de la radiación cósmica y del viento solar.
- **Geodesia:** Ciencia que tiene por objeto el estudio y la determinación de la forma, dimensiones y campo de la gravedad de la Tierra y de los cuerpos celestes cercanos a ella. Previamente a la realización del mapa topográfico de un país son necesarios los trabajos de geodesia. Permite obtener datos para fijar con exactitud los puntos de control de la triangulación y la nivelación.
- **Georreferenciación:** La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. (<http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm>)
- **Imagen vectorial:** Una imagen vectorial es la imagen digital. La misma se encuentra conformada por objetos geométricos independientes como ser: polígonos, arcos, entre otros, y a cada uno de ellos se los definirá por distintos atributos matemáticos tales como la forma, el color, la posición.
- **Ortofoto:** es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico, se obtiene a partir de las perspectivas de la imagen y se ha rectificado la imagen del terreno según una proyección ortogonal vertical.

- **Posicionamiento estático:** Método de medición caracterizado por la ocupación simultánea de dos o más puntos durante un tiempo suficientemente prolongado mientras los receptores se mantienen estacionarios en tanto registran los datos.
- **Precisión:** Medida de la repetitividad de un conjunto de mediciones, se expresa generalmente como un valor estadístico basado en un conjunto de mediciones repetidas, tales como la desviación estándar de la media de la muestra.
- **Punto de control en el terreno:** Punto de la tierra que tiene una posición conocida con precisión geográfica.
- **Pixel:** Un píxel o pixel, plural píxeles (acrónimo del inglés picture element), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.
- **Megapíxel:** Un megapíxel o megapíxel (Mpx) equivale a 1 millón de píxeles, a diferencia de otras medidas usadas en la computación en donde se suele utilizar la base de 1024 para los prefijos, en lugar de 1000, debido a su conveniencia respecto del uso del sistema binario.
- **Mapa:** Representación plana y con posiciones relativas, de una porción de superficie terrestre de fenómenos concretos localizables en el espacio y que se elabora a una determinada escala y proyección, conservando los valores de la curvatura de la Tierra.
- **Resolución de imagen:** Es el grado de detalle o calidad de una imagen digital ya sea escaneada, fotografiada o impresa. Este valor se expresa en ppp (píxeles por pulgada) o en inglés dpi (dots per inch). Cuantos más píxeles contenga una imagen por pulgada lineal, mayor calidad tendrá.

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Planteamiento de la hipótesis.**

#### **3.1.1. Hipótesis general.**

El levantamiento topográfico empleando RPAs presenta resultados similares al método tradicional de una manera sencilla y con menor tiempo

### **3.2. Tipo y Diseño de la Investigación**

#### **3.2.1. Tipo De Acuerdo al Fin que persigue.**

La presente investigación se encuentra dentro del tipo de investigación aplicada ya que se realiza una comparación entre dos métodos de aplicación de la topografía para así poder observar cual método es el más conveniente.

#### **3.2.2. Tipo de acuerdo al diseño.**

La presente investigación se encuentra encuadrada en la clasificación de investigación cuantitativa, descriptiva de corte transversal.

Cuantitativa porque se usa la recolección de datos para probar hipótesis en base a la medición numérica y el análisis estadístico.

Descriptiva porque tiene como objetivo indagar la incidencia de las modalidades de la variable en estudio.

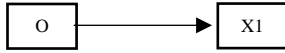
Transversal debido a que sólo se tomarán los datos una vez y las variables no sufrirán alteraciones en el transcurso del estudio. (Hernández, Fernández Y Baptista, 2006, p.151)

#### **3.2.3. Diseño de la Investigación.**

La presente investigación es de diseño no experimental.

No Experimental, porque se realiza el estudio sin la manipulación de las variables, observándolas en su ambiente natural.

El diseño empleado corresponde al siguiente gráfico:



O= Observación

X1= Variable (Comparación de levantamiento topográfico empleando el método RPAs y el método tradicional)

### 3.3. Definición de Variables.

**Variable:** Comparación de levantamiento topográfico empleando el método RPAs y el método tradicional.

### 3.4. Operacionalización de variables.

Tabla 9. Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Comparación de levantamiento topográfico empleando el método UVA's y el método tradicional.	La comparación se refiere a examinar dos o más cosas para establecer sus relaciones, diferencias o semejanzas.	Para el levantamiento topográfico empleando RPAs se utilizó un Drone DJI Phantom 4 Pro. equipado con una cámara de 20 megapíxeles y software Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076. Para el levantamiento topográfico tradicional se utilizó una estación total Leica FlexLine TS02 plus de 2" y software Auto CAD Civil 3D	Precisión.	Fotometría digital
			Exactitud	Fotometría Digital  Topografía con Estación Total

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Población y Muestra.**

#### **3.5.1. Población.**

La población analizada está constituida en el distrito Ayacucho, del departamento de Ayacucho

#### **3.5.2. Muestra.**

El tipo de muestreo que se utilizó fue no probabilístico por criterio.

### **3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos.**

#### **3.6.1. Técnicas.**

Para el presente estudio se empleó la observación.

#### **3.6.2. Instrumentos.**

Los instrumentos empleados fueron una estación total Leica FlexLine TS02 plus de 2” y un Drone DJI Phantom 4 Pro. con el apoyo del software Auto CAD Civil 3D y Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076 respectivamente.

#### **3.6.3. Para recolección de datos.**

##### **Método directo.**

Se ha realizado la toma de datos con una estación total Leica FlexLine TS02 plus de 2”, de todos los puntos resaltantes tales como desniveles y cambios de pendiente de la excavación, así como del acopio del material tipo núcleo.

### Método indirecto.

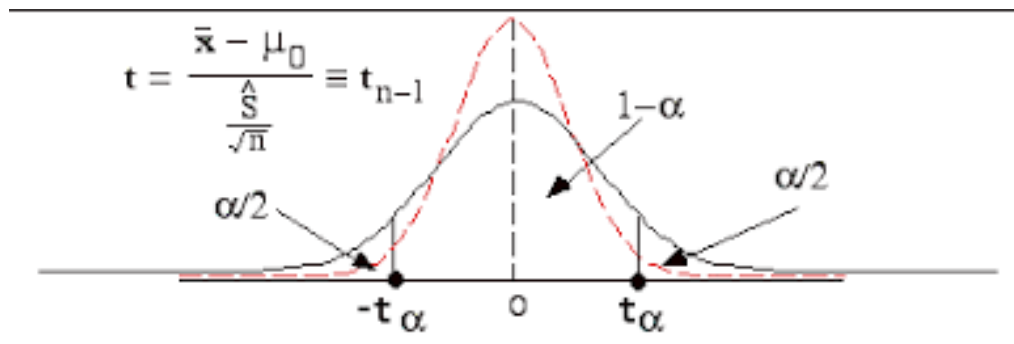
Se realizó tomas fotográficas aéreas con el drone, una vez hechas estas fotografías se ha realizado la digitalización de las mismas con el apoyo del software Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076.

#### 3.6.4. Para procesar datos.

Según el nivel de medición y análisis de la información a nuestro proyecto corresponde a la distribución en el muestreo inferencial de, “t Students” emparejadas o pareadas, cada uno con sus tratamientos y repeticiones completamente al azar con su formulas conocidas

$$t = \frac{d - D_0}{S_n^d - 1/\sqrt{n}}$$

Figura 18. Gráfico estadístico de T student pareada o emparejadas



No existe diferencia entre dos muestras  $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Existe diferencias entre el dos muestras  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$



### Para la variable longitudinal.

**Método de testigo:** La toma de datos de los puntos resaltantes, tal como se tiene el concepto de un levantamiento topográfico detallado, con el apoyo de una estación total, equipo calibrado y probado.

**Método de contraste:** Se ha realizado el levantamiento indirecto a través de tomas aéreas con el uso del Drone DJI Phantom 4 Pro. esto en las mismas áreas del método anterior.

### Para la variable tiempo.

**Método Testigo.** La toma de datos tridimensional con una estación total y cuyo procesamiento se ha dado a través del resultado de las coordenadas obtenidas y estas han sido dibujadas manualmente con el apoyo del software adecuado.

**Método a Contrastar.** Levantamiento indirecto a través de tomas aéreas con el uso del Drone DJI Phantom 4 Pro. esto en las áreas de estudio arriba descritas.

### Para la variable económica.

**Uso de Estación Total:** Gastos realizados en el proceso de campo, iniciando con la georreferenciación, y el levantamiento topográfico de las zonas de estudio tomando en cuenta el gasto en conjunto.

**Uso del Drone DJI Phantom 4 Pro.:** con la cámara adecuada para este tipo de trabajo más el software indicado, aplicado en la zona de trabajo según indicado en este estudio.

## **CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE APLICACIÓN PROFESIONAL**

La formación de ingeniero civil se presenta en este escenario como un reto complejo pero ineludible, la que conlleva a plantear diversas alternativas para que adquiera las competencias básicas del mismo y genere un desempeño profesional adecuado, oportuno y con buena fiabilidad, razón por la cual se presenta una propuesta de investigación viable y pertinente en nuestra realidad. La cual se aplica en la ingeniería de agrimensura y topografía, el que sirve de columna vertebral de un proyecto propio de ingeniería, esto debido que a partir de ella nace los diseños, metrados, costos y presupuestos, por ello de la importancia de obtención de datos de campo fiables y precisos como ya ha demostrado la estación total, por ello se verifica estas precisiones en nuevas tecnologías, como sus márgenes de fiabilidad, así como bondades para la obtención de datos valederos.

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS.

### 5.1. Precisión.

Tabla 10. Datos de BMs georreferenciados de muestra de una población de 22 BMs

BM's PUNTOS DE CONTROL CON ESTACION TOTAL			
DESCRIPCION	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)
REF 1	582995.899	8543956.081	2852.773
BM 1	583086.277	8543960.839	2852.000
BM 3	583027.508	8544071.728	2828.388
BM 5	583080.275	8544053.674	2822.955
BM 6	583167.922	8544051.397	2816.818
BM 7	583266.110	8544253.810	2807.794

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Datos Fotogramétricos del Vuelo del dron.

BM's MUESTRA DE FOTOGRAMETRIA			
DESCRIPCION	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)
REF 1	582995.860	8543956.064	2852.756
BM 1	583086.224	8543960.854	2852.016
BM 3	583027.551	8544071.694	2828.327
BM 5	583079.825	8544053.749	2822.938
BM 6	583167.897	8544051.414	2816.835
BM 7	583266.049	8544253.793	2807.733

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Datos d

d DE LOS BM's DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)
REF 1	0.039	0.017	0.017
BM 1	0.053	-0.014	-0.017
BM 3	-0.043	0.034	0.061
BM 5	0.450	-0.075	0.017
BM 6	0.025	-0.017	-0.017
BM 7	0.061	0.017	0.061

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Resultado de la prueba estadística "t"

PRUEBA t PARA MEDIAS DE DOS MUESTRAS EMPAREJADAS		
DESCRIPCION	Variable 1	Variable 2
Media	583103.998	583103.901
Varianza	9755.87	9756.33
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	0.9999984	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	1.35	
P(T<=t) una cola	0.12	
Valor critico de t (una cola)	2.02	
P(T<=t) dos colas	0.23	
Valor critico de t (dos colas)	2.57	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar del resultado de la tabla 13 de la prueba de t, no existe diferencia estadística entre dos muestras, con un nivel de confianza de 95% lo que nos da como resultado un levantamiento topográfico con drone fiable para trabajar en diferentes proyectos de ingeniería u otros.

## 5.2. Exactitud.

Tabla 14. Puntos de Control de la Estación Total

BM's PUNTOS DE CONTROL CON ESTACION TOTAL			
DESCRIPCION	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)
REF 1	582995.899	8543956.081	2852.773
BM 1	583086.277	8543960.839	2852.000
BM 3	583027.508	8544071.728	2828.388
BM 5	583080.275	8544053.674	2822.955
BM 6	583167.922	8544051.397	2816.818
BM 7	583266.110	8544253.810	2807.794

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla n°14 se aprecia los datos obtenidos del levantamiento topográfico con estación total, que se consideraran como el valor real, al ser un instrumento de medición para el levantamiento topográfico.

Tabla 15. Puntos de control del dron y diferencias con respecto a los puntos de la estación total

BM <sub>s</sub> MUESTRA DE FOTOGRAMETRIA				DIFERENCIA		
DESCRIPCION	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)	ESTE	NORTE	COTA (m.n.s.m.)
REF 1	582995.860	8543956.064	2852.756	0.039	0.017	0.017
BM 1	583086.224	8543960.854	2852.016	0.053	-0.014	-0.017
BM 3	583027.551	8544071.694	2828.327	-0.043	0.034	0.061
BM 5	583079.825	8544053.749	2822.938	0.450	-0.075	0.017
BM 6	583167.897	8544051.414	2816.835	0.025	-0.017	-0.017
BM 7	583266.049	8544253.793	2807.733	0.061	0.017	0.061

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Resultados de tiempo utilizados en campo.

En el tiempo utilizado para el levantamiento topográfico y obtención de datos finales se obtiene.

Tabla 16. Tiempo usado en campo y gabinete A (estación total); B (dron)

TRATAMIENTO	TIEMPO DE LAVANTAMIENTO TOPGRAFICO (H y m)
A	15:50
B	00:45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Cálculo de t entre tratamiento de A y B

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	Variable 1	Variable 2
Media	1.5	8.29
Varianza	0.5	113.7032
Observaciones	2	2
Coefficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	-0.84452736	
P(T<=t) una cola	0.27676663	
Valor crítico de t (una cola)	6.31375151	
P(T<=t) dos colas	0.55353325	
Valor crítico de t (dos colas)	12.7062047	

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro 17 se obtiene que existen diferencias entre las dos muestras, con una confianza de 95% de confianza.

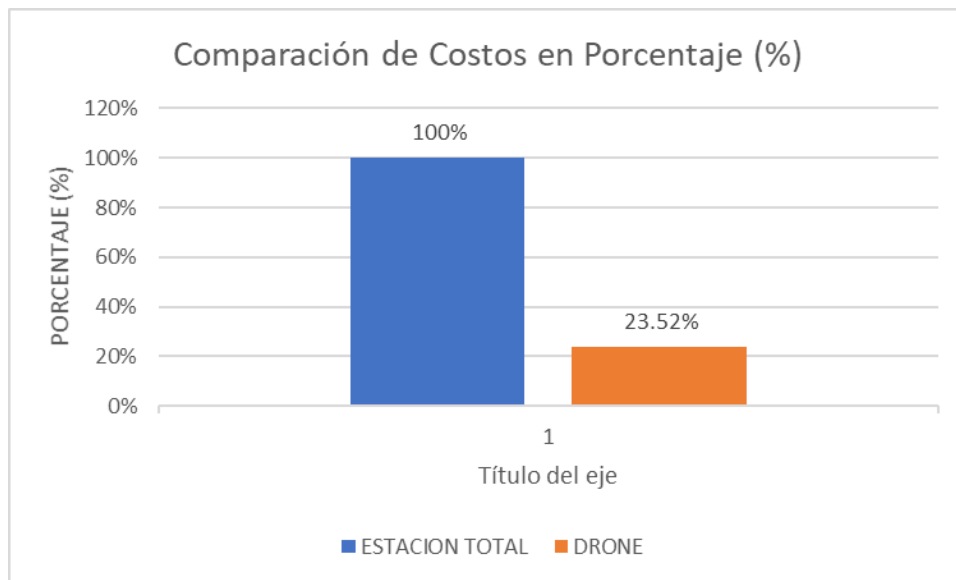
#### 5.4. Resultados de tiempo empleado en el procesamiento.

En este caso en particular se obtiene que el tiempo de procesamiento son iguales en un total 04 horas de trabajo, tanto en el software para los datos el drone DJI phantom 4 Pro. y el de estación total, que son el Agisoft PhotoScan y el de Autocad 3D, respectivamente.

#### 5.5. Resultado de la variable costo en soles.

Por haberse realizado el gasto en conjunto de los tratamientos, no se ha podido contar con más variables para poder cuantificar más, solo se puede contar con gastos totales del gasto por método, los siguientes gráficos muestran los resultados de los mismos:

Figura19. Variación en porcentaje de costos entre ambos equipos.



Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Del presente trabajo se obtiene:

La investigación nos indica que ambos equipos de topografía como el drone DJI Phantom 4 pro, y la estación total, resultan iguales en un levantamiento topográfico con un 95% de confianza estadística, lo que resulta un equipo de drone apropiado para trabajos topográficos en fotogrametría, como menciona sus especiaciones.

En el caso de tiempo en un levamiento topográfico es más conveniente el uso de drone por que ser realiza en menor tiempo, aunque los procesos de obtención de datos sean los mismos.

El levantamiento topográfico con drone es más barato y más eficiente en tiempo que con estación total.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye:

Concluimos que ambos equipos de topografía como el drone DJI Phantom 4 pro, y la estación total, resultan iguales en un levantamiento topográfico con un 95% de confianza estadística, lo que resulta un equipo de drone apropiado para trabajos topográficos en fotogrametría, lo que esto afianza a aceptar sus especificaciones propias del fabricante.

Se concluye también que es mejor y más conveniente el uso de drone, para trabajos topográficos porque este realiza el trabajo en mención en menor tiempo, aunque los procesos de obtención de datos de gabinete sean los mismos.

El levantamiento topográfico con drone es más barato y más eficiente en tiempo que con estación total.



## CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES.

Con la realización del presente trabajo puedo dar las siguientes recomendaciones:

- Es recomendable un planeamiento adecuado para los trabajos y la obtención de datos, con un buen itinerario y teniendo cuenta los factores climatológicos al realizar los vuelos, como la lluvia que estropearía el drone, la iluminación del sol afecta a la calidad de la fotografía, en este caso una solución factible es reducir el brillo al realizar las capturas de imágenes, con respecto a la temperatura, podrían recalentar el motor las hélices tanto por la alta temperatura o por bajas, en el caso del viento, desestabiliza la cámara y como consecuencia la fotografía será borrosa o afectaría a la verticalidad de la cámara que es programada.
- Se puede optar por realizar un método híbrido en el que se mezclan los dos sistemas anteriormente descritos, esta combinación proporciona una mayor información a nivel espacial con los modelos de elevación, y en lugares específicos se puede aprovechar la topografía por el método convencional para realizar mediciones y comprobaciones de la exactitud.
- Cuando se opte por utilizar cualquier RAP's de manera autónoma, es necesario aprender primero cómo volar el avión no tripulado de forma manual. Control manual del avión no tripulado es la única manera de evitar obstáculos o volver un avión no tripulado que vuela lejos debido a interferencias GPS.
- Verificar siempre el manual y especificaciones del fabricante del drone a utilizar.

## REFERENCIAS.

- Ávila Acosta, R. (2001) Guía para elaborar la tesis: metodología de la investigación; cómo elaborar la tesis y/o investigación, ejemplos de diseños de tesis y/o investigación. Lima: ediciones R.A.
- Fernández De Córdoba R. M. (2010). Producción de productos cartográficos: MDT y ortofoto a partir de imágenes Capturadas por un vehículo UAV. Master en Geo-tecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura. Curso 2009-2010.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de le investigación (5ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, D. (2006). Introducción a la Fotometría Digital. La Mancha: Universidad de Castilla.
- Jauregui, I. (2010). Introducción a la Fotometría. Venezuela.
- Trimble Businwss Center photogrammetry module (Vol. vol. 550). (2013). USA, Colorado: Westminister.
- Quirós Rosado, Elia (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. España: Universidad de Extremadura
- Runco, R. (2014). Avión no Tripulado UAV de Trimble, modelo UX5, una herramienta profesional para la adquisición de Imágenes. Obtenido de <http://www.elagrimensor.com.ar/Notiarticulo.asp?N=820>
- Valdivia M. J. A. (2006). —Uso de la Fotogrametría Terrestre en el Levantamiento de la Fachada Principal de la Basílica Catedral de Puno. Tesis de grado no publicado. Facultad de Cs Agrarias. Programa académico de ingeniería Topográfica y Agrimensura. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

**Páginas web:**

<https://pix4d.com/products/> conceptos básicos y aplicaciones del software.

[www.fotosuy.com/](http://www.fotosuy.com/)

[www.sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Introduccion\\_Fotogram](http://www.sitopcar.es/modulos/descargas/manuales/Introduccion_Fotogram)

[www.definicionabc.com](http://www.definicionabc.com)

<http://www.ign.gob.pe/> instituto geográfico nacional.

<http://www.agisoft.com/>



## **ANEXOS**

## ANEXOS 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p><b>Problema principal:</b> Cuál de los equipos de uso topográfico son más eficientes?</p> <p><b>Problemas específicos.</b></p> <p><b>PE1:</b> ¿De qué manera se realiza los levantamientos topográficos con la implementación de los drones?</p> <p><b>PE2:</b> ¿Los datos obtenidos de forma indirecta, tomados desde un drone aplicando la fotogrametría, tienen la misma precisión respecto a un método tradicional directo?</p> <p><b>PE3:</b> ¿Qué método de levantamiento topográfico será el más económico y eficaz?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la eficiencia de levantamientos topográficos usando drones versus el método tradicional.</p> <p><b>Objetivos secundarios:</b></p> <p><b>OE1:</b> Describir el procedimiento del método de levantamiento topográfico con drones.</p> <p><b>OE2:</b> Determinar si las mediciones de campo obtenidas con el drone son similares al de una estación total.</p> <p><b>OE3:</b> Comparar y determinar cuál de los dos métodos de levantamiento topográfico es más económico, que impliquen menor tiempo y si cumplen con la precisión requerida.</p>	<p><b>Hipótesis principal:</b> El levantamiento topográfico empleando UAV's presenta resultados similares al método tradicional.</p> <p><b>Hipótesis secundarias:</b></p> <p><b>HE1:</b> El levantamiento topográfico empleando UAV's, se realizó de una manera sencilla y sin complicaciones.</p> <p><b>HE2:</b> El levantamiento topográfico empleando UAV's, presenta la misma precisión que un levantamiento utilizando estación total.</p> <p><b>HE3:</b> El levantamiento topográfico empleando UAV's, requiere menor tiempo y costo para la realización de levantamientos de terrenos.</p>	<p>Comparación de levantamiento topográfico empleando el método UVA's y el método tradicional.</p>	<p>La presente investigación se encuentra dentro del tipo de investigación aplicada ya que se realiza una comparación entre dos métodos de aplicación de la topografía para así poder observar cual método es el más conveniente.</p> <p><b>Tipo de acuerdo al diseño.</b> La presente investigación se encuentra encuadrada en la clasificación de investigación cuantitativa, descriptiva de corte transversal, no experimental.</p> <p><b>Cuantitativa</b> porque se usa la recolección de datos para probar hipótesis en base a la medición numérica y el análisis estadístico.</p> <p><b>Descriptiva</b> porque tiene como objetivo indagar la incidencia de las modalidades de la variable en estudio.</p> <p><b>Transversal</b> debido a que sólo se tomarán los datos una vez y las variables no sufrirán alteraciones en el transcurso del estudio. (Hernández, Fernández Y Baptista, 2006, p.151)</p> <p><b>No Experimental</b>, porque se realiza el estudio sin la manipulación de las variables, observándolas en su ambiente natural.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXOS 2. RELACION DE BMs DEL PRESENTE ESTUDIO

N	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIPCION
1	582995.899	8543956.081	2852.773	REF 1
2	583086.277	8543960.839	2852.000	BM 1
3	583027.508	8544071.728	2828.388	BM 3
4	583080.275	8544053.674	2822.955	BM 5
5	583167.922	8544051.397	2816.818	BM 6
6	583266.110	8544253.810	2807.794	BM 7
7	583275.667	8544236.237	2801.669	BM 8
8	583286.834	8544115.594	2802.708	BM 9
9	583193.304	8544271.347	2815.700	BM 10
10	583121.010	8544262.037	2820.244	BM 11
11	583039.337	8544235.669	2825.536	BM 12
12	582959.956	8544361.979	2866.936	BM 13
13	582926.637	8544420.523	2877.878	BM 17
14	582868.916	8544330.122	2878.764	BM 18
15	582856.061	8544264.825	2876.443	BM 19
16	582779.049	8544188.285	2866.577	BM 20
17	582691.489	8544176.732	2870.131	BM 21
18	582662.307	8544169.679	2880.944	BM 22
19	582563.908	8544145.334	2905.409	BM 23
20	582755.134	8544161.949	2858.070	BM 24
21	582908.083	8544066.184	2839.227	BM 25
22	582952.686	8544016.446	2838.063	BM 26

### **ANEXOS 3. PROCESO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL.**

Se llama proyecto de vuelo fotogramétrico al conjunto de cálculos previos a la ejecución de un vuelo fotogramétrico, así como de todas las actividades topográficas requeridas para mejorar la precisión del mismo; mediante los cuales se organiza la operación para conseguir un producto fotogramétrico propuesto, con las condiciones establecidas.

Al realizar la planificación, hay que tener en cuenta todos los factores que inciden en el vuelo para evitar atrasos, errores y cambios de planes en los momentos críticos del vuelo.

Un proyecto fotogramétrico se puede dividir en tres fases:

1. La planificación del vuelo que debe seguirse para la adquisición de las fotografías aéreas que se usarán en el proyecto.

En la planificación de un vuelo existe una serie de decisiones previas tales como la escala del mapa, GSD buscado, sistema de coordenadas, elipsoide de referencia, etc., que han de tenerse en cuenta en el planeamiento, ya que afecta las condiciones del vuelo, así como otras condiciones que se refieren a la calidad de la fotografía tanto en su aspecto geométrico (escala, arrastre de la imagen, horas útiles de tomas fotográficas, etc.), como en el fotográfico (tipo de cámara).

2. El apoyo topográfico, que incluye la planificación del control terrestre y la ejecución de todos los trabajos topográficos que aseguren la precisión requerida por el proyecto.
3. La ejecución del vuelo, que incluye todas las actividades a efectuarse durante la ejecución de las misiones de vuelo.

#### **Vuelo DJI Phantom 4 Pro.**

Se programa el área que se realizara el levantamiento topográfico con Drone, después se asigna la altura de vuelo y por último la inclinación del Angulo de la cámara.

Se debe dar seguimiento constante al cumplimiento de la misión de vuelo en el dispositivo observando parámetros como la altura, distancia a la que se encuentra el equipo, satélites enlazados al sistema GNSS, velocidad, fotografía y su ubicación en las líneas de vuelo.

## Seguimiento del vuelo mediante la aplicación Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076

Figura 20. Determinación de zona total de vuelo.



Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar el vuelo, se actualizan los programas y aplicaciones, se continua con la calibración del dron y del mando, por último, se activa la programación del vuelo

Figura 21. Determinación de recorrido de vuelo



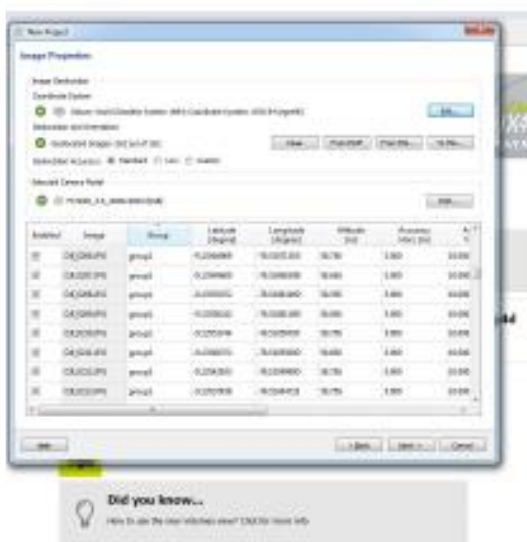
Fuente: Fuente: Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076.



### Procesamiento de datos de la misión fotogramétrica.

Al terminar el vuelo, se extrae la microSD, donde se encuentra las imágenes con sus respectivos datos, se examina cada foto para verificar que todas las fotos estén en buen estado y se procede a procesar.

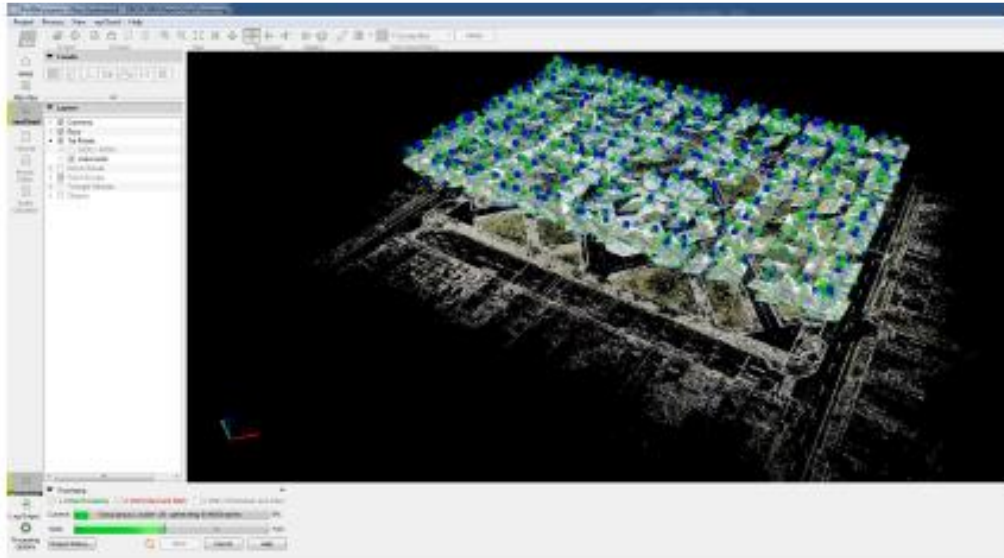
Figura 22. Organigrama de proceso de datos.



Fuente: Pix4Dcapture

Conforme se va procesando los datos, va adquiriendo forma la visualización de los puntos de control, nube de puntos (detalles del área).

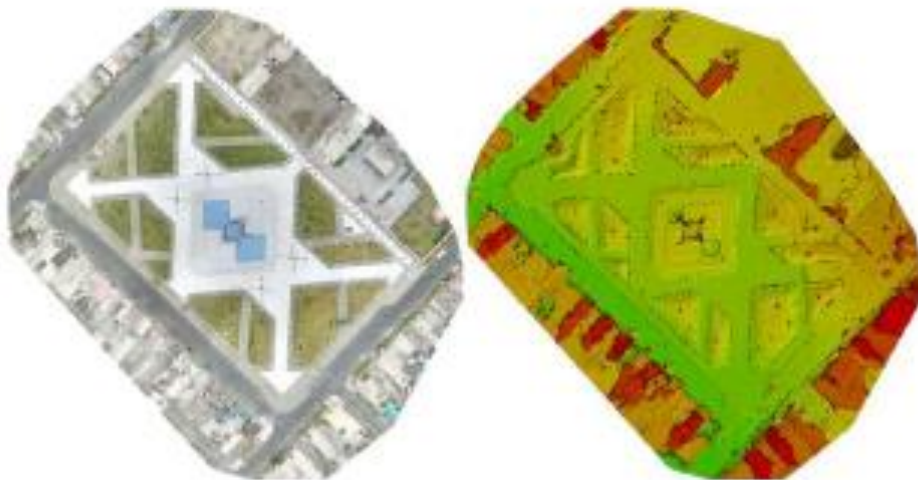
*Figura 23. Proyección de las fotografías para la generación del mosaico.*



*Fuente: Pix4Dcapture*

Por último, nos genera, el orto mosaico y otra imagen donde indica que zonas se obtiene con mayor facilidad los datos.

*Figura 24. Orto mosaicos*



*Fuente: Pix4Dcapture*

### **Recomendación.**

Antes de utilizar Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0 Build 5076, es necesario aprender primero cómo volar el avión no tripulado de forma manual. Control manual del avión no tripulado es la única manera de evitar obstáculos o volver un avión no tripulado que vuela lejos debido a interferencias GPS.

**ANEXOS 4. PANEL FOTOGRAFICO.**

*Figura 25. Vistas 1 del trabajo realizado en campo con el drone.*



*Figura 26. Vistas 2 del trabajo realizado en campo con el drone.*



## ANEXOS 5. COSTOS COMPARATIVOS.

Tabla 18. Comparación en compra de equipos.

Levantamiento topográfico – Estación Total		Levantamiento topográfico – Drone	
Descripción	Precio	Descripción	Precio
Leica FlexLine TS02 plus 2”	S/. 20,000.00	Dji Phantom 4 Pro.	S/. 4,800.00
CPU – Tarjeta de Videos 2 GB	S/. 3,000.00	CPU – Tarjeta de Videos 4 GB	S/. 4,000.00
		Micro SD 64 GB	S/. 100.00
<b>Total</b>	<b>S/. 23,000.00</b>		<b>S/. 8,900.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Comparación en alquiler de equipos.

Levantamiento topográfico – Estación Total				Levantamiento topográfico – Drone			
Descripción	Und. S/.	Cant	Sub. Total S/.	Descripción	Und. S/.	Cant	Sub. Total
Leica FlexLine TS02 plus 2”	150/ día	3 días	300	Dji Phantom 4 Pro.	90/ hora	1 h	S/. 90.00
CPU – Tarjeta de Videos 2 GB	8/ día	2 días	16	CPU – Tarjeta de Videos 4 GB	4/día	4 h	S/. 8.00
<b>Total</b>		<b>S/. 316.</b>		<b>Total/</b>		<b>S/. 98.00</b>	

Fuente: Elaboración propia.

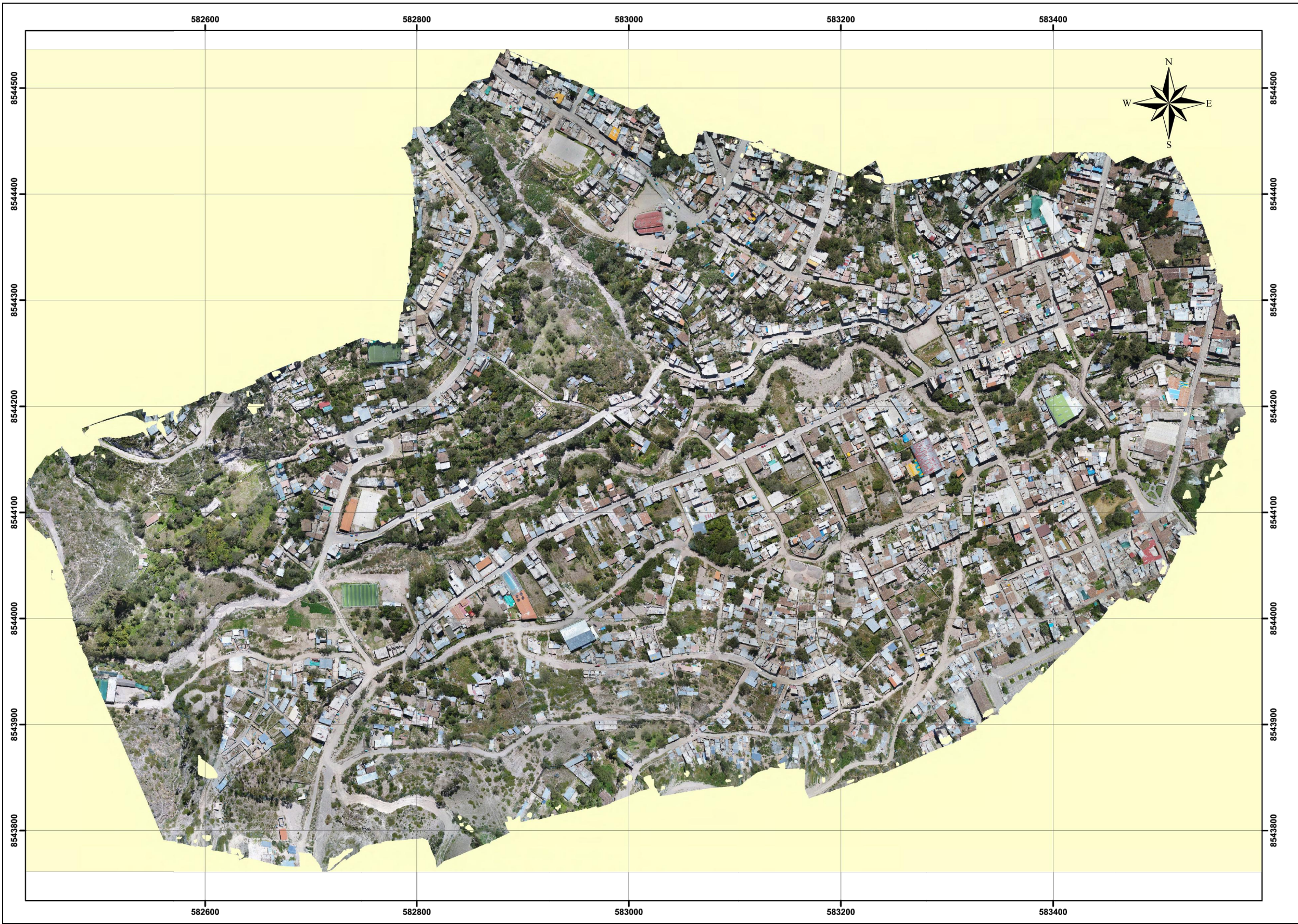
Tabla 20. Comparación gastos total de levantamiento topografico.

Descripción	Levantamiento topográfico – Estación Total			Levantamiento topográfico – Drone		
	Unidad	cantidad	Sub. Total	Unidad	cantidad	Sub. Total
Transporte	120	3	360	20	1	20
Personal	45	9	405	0	0	0
Alquiler de equipo	316	3	948	98	1	98
Proceso	0	0	0	285	1	285
<b>Total</b>	<b>S/1,713.00</b>			<b>S/403.00</b>		

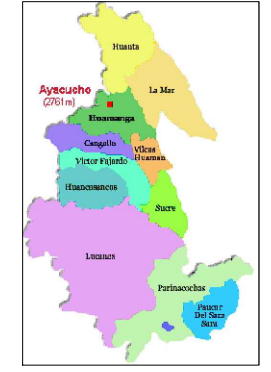
Fuente: Elaboración propia.



# PLANOS



UBICACIÓN



LOCALIZACIÓN

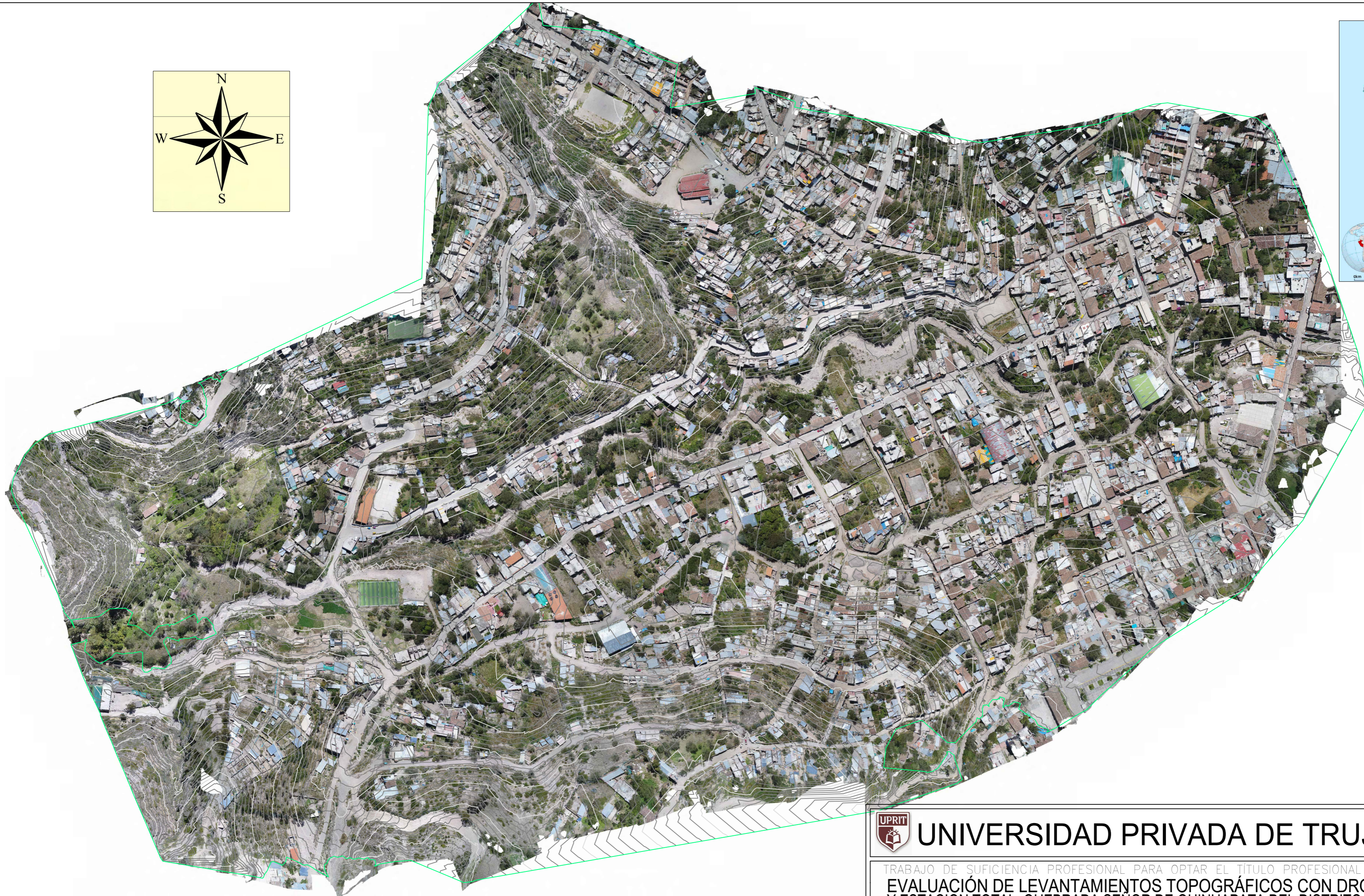
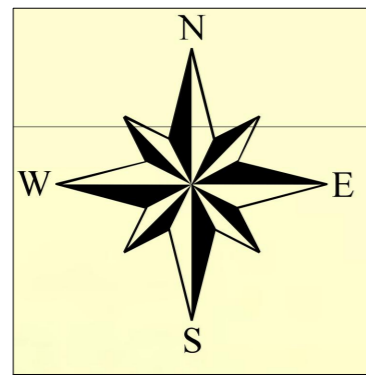
**UPRIT UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO - UPRIT**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL:  
**EVALUACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON DRONE (DJI Phantom 4 pro)  
 Y ESTACION TOTAL, QUEBRADA SEÑOR DE QUINUAPATA DEL DISTRITO DE AYACUCHO, PERU 2018**

FACULTAD: DE INGENIERÍA	ESCUELA DE: INGENIERÍA CIVIL	ASESOR: MG. ING. ENRIQUE MANUEL DURAND BAZAN
----------------------------	---------------------------------	---

ALUMNO: MAK ROBERT AYALA VALDIVIA	ESCALA: 1/50	ESCALA: JULIO 2018	PLANO: ORTOFOTO DE LA ZONA DE ESTUDIO
--------------------------------------	-----------------	-----------------------	--





UBICACIÓN



LOCALIZACIÓN



# UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO - UPRIT

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL:  
**EVALUACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CON DRONE (DJI Phantom 4 pro)  
 Y ESTACION TOTAL, QUEBRADA SEÑOR DE QUINUAPATA DEL DISTRITO DE AYACUCHO, PERU 2018**

FACULTAD: DE INGENIERÍA	ESCUELA DE: INGENIERÍA CIVIL	ASESOR: MG. ING. ENRIQUE MANUEL DURAND BAZAN
ALUMNO: MAK ROBERT AYALA VALDIVIA	ESCALA: 1/2,500	ESCALA: JULIO 2018
PLANO: ORTOFOTO CON DRONE Y SUS CURVAS A NIVEL		