

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS) DE  
BAJO COSTE, PARA OPTIMIZAR EL PROCESO  
DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO - 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Moises Garcia Durand

Luis Martin Guevara Pacheco

**Asesor(a):**

Ing. Alexandra Hinostroza Aquino

<https://orcid.org/0000-0002-5216-4942>

Lima - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>JOSE NEYRA TORRES</b>	<b>21454204</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>ERICK HUMBERTO RABANAL CHAVEZ</b>	<b>42009981</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>NEICER CAMPOS VASQUEZ</b>	<b>42584435</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### TESIS GUEVARA Y DURAND

#### ORIGINALITY REPORT

**12%**

SIMILARITY INDEX

**12%**

INTERNET SOURCES

**1%**

PUBLICATIONS

**2%**

STUDENT PAPERS

#### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Internet Source	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>revistas.unah.edu.cu</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Student Paper	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>revistas.utp.edu.co</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>www.antamina.com</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>core.ac.uk</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>

## DEDICATORIA

A nuestra familia, por el apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestras familias por la paciencia y comprensión, durante el desarrollo de  
nuestros estudios.

## Tabla de contenido

Jurado evaluador .....	2
Informe de similitud .....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento .....	5
Tabla de contenido .....	6
Índice de tablas .....	7
Índice de figuras .....	8
Resumen .....	9
Capítulo I: Introducción .....	10
Capítulo II: Metodología .....	18
Capítulo III: Resultados .....	24
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones .....	32
Referencias .....	37
Anexos .....	42

## Índice de tablas

Tabla 1 .....	24
Tabla 2 .....	25
Tabla 3 .....	27
Tabla 4 .....	27
Tabla 5 .....	28
Tabla 6 .....	29
Tabla 7 .....	29
Tabla 8 .....	29

## Índice de figuras

Figura 1 Secuencia de variable .....	19
Figura 2 Flujo de Trabajo para la actividad .....	21
Figura 3 Secuencia de trabajo hasta la obtención de imágenes .....	21
Figura 4 Flujo de trabajo de la secuencia de vuelo .....	22
Figura 5 Flujo de trabajo para el procesamiento de Imágenes. ....	25
Figura 6. Mapa de importancia de acuerdo al presupuesto.....	28
Figura 7. Estadística Descriptiva - Comparación de tiempos.....	30



## RESUMEN

Los trabajos de levantamiento topográficos son el pilar de la ingeniería, es por ello que un adecuado levantamiento topográfico conlleva el consumo de horas hombre con una correlación positiva, a más área mayor cantidad de días de trabajo, lo cual dificulta el avance de los proyectos, así como en su ejecución.

La presente Tesis propone una alternativa de solución a las limitaciones de avance de los trabajos de ingeniería, el cual propone la implementación de una aeronave con sistema pilotada a distancia (RPAS) de bajo coste para optimizar el proceso de levantamiento topográfico en los proyectos de Ingeniería.

Asimismo, propone una metodología experimental, luego de una evaluación de prototipos comerciales, se obtuvo el modelo X-UAV Talon, seguidamente el RPAS seleccionado realizó misiones programadas donde se obtuvieron imágenes, con ayuda de programas de restitución de imágenes (Agisoft Metashape), se obtuvo modelo digital de elevaciones, ortofoto y curvas de nivel, áreas, entre otros, lo cual demandó un promedio de 03 días y un costo 3.17 soles menor, comparado con la topografía tradicional el cual demandó 16 días, y para el análisis estadístico con la prueba de Kruskal-Wallis se obtuvo un P de 0.005, lo cual refleja una optimización significativa del tiempo de procesamiento con el uso de RPAS, siendo 5.3 veces más rápido que el método convencional. Finalmente, el levantamiento topográfico con RPAS es 3.17 más económico que la topografía tradicional (uso de estación total). El estudio aporta evidencia sólida que respalda la adopción de RPAS en la topografía, especialmente en áreas de difícil acceso como los humedales.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema de aeronave pilotada a distancia, fotogrametría.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### Realidad problemática

El levantamiento topográfico con el uso de los RPAS aventaja respecto a los levantamientos topográficos tradicionales (uso de estaciones totales), siendo entre ellos el factor tiempo que demanda comparado con la topografía tradicional, Otra ventaja es que sólo se requiere una persona para operar y programar el RPAS para levantamientos topográficos. La desventaja de la tecnología RPAS es que requiere una gran inversión financiera inicial para adquirir el RPAS y el software de imágenes capaz de realizar las tareas asignadas. (Del Rio *et al*, 2020).

Con el propósito de obtener información topográfica de grandes extensiones y en lugares inaccesibles, accidentados o puntos de difícil acceso, en nuestra realidad, la geografía limita los trabajos de levantamiento de información georreferenciada, y demanda inversiones y muchas horas hombre, para recolectar toda la información, en ese contexto se propone la investigación de implementación de un sistema pilotado a distancia (RPAS) con tecnología económica, disponible y/o asequible para quien lo requiera, con el propósito de optimizar el tiempo, costo y calidad de los trabajos en la ingeniería (Vera *et al.*, 2017).

En el ámbito civil, existen numerosos campos donde los RPAS pueden desarrollarse, dadas sus características geográficas, son de especial interés el sector medioambiental, Civil y agrícola (Tello, 2009), lo que ha dado ya lugar a contratos gubernamentales y a la aparición de empresas especializadas. Otros sectores interesantes son el de infraestructuras, el logístico, cuyo potencial se ha visto reforzado con la crisis de la COVID-19, el policial o la monitorización y control medioambiental del ártico (Ottawa, 2020).

En los últimos años, con el rápido desarrollo de la tecnología de drones, los desarrolladores de RPAS en diferentes países han construido modelos de negocio con

diferentes especificaciones para adaptarse a diferentes aplicaciones en la vida diaria. Sin embargo, estos modelos suelen ser costosos para los investigadores y estudiantes, lo que les impide explorar más a fondo. (Rahman, 2017).

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa, más conocida por las siglas DARPA, ha impulsado el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados (UAV) y robots de servicios (Silveira, 2015) (llamados drones), que están creciendo exponencialmente. Tiene diversas funciones (Perera, 2014) tales como: monitoreo agroindustrial, vista aérea, búsqueda y rescate, topografía, conteo automático de ganado e incluso análisis del estado de los cultivos, etc. Algunas de estas operaciones se realizan en entornos exteriores e interiores densamente poblados donde la tecnología Light Detección y Rango (LIDAR) es fundamental para lograr los objetivos, por lo que se desarrolló un algoritmo para acceder a la información contenida en el RPAS, controlándola así para mejorar de forma autónoma el procesamiento, eficiencia y robustez para tomar decisiones críticas de navegación. (Zhou, y otros, 2015).

Además, las propuestas de sistemas de drones para aplicaciones de cobertura de área incluyen el uso del software de código abierto Ardupilot, que es capaz de operar múltiples aviones simultáneamente, como Mission Planner. Diseñado para establecer nuevos estándares para la planificación de rutas en áreas específicas. Con este documento se garantiza la cobertura del área de trabajo y los resultados mostrarán una importante reducción en el tiempo. Esta estrategia permite obtener información autorizada para mitigar los efectos adversos de condiciones imprevistas a lo largo del levantamiento topográfico. (Santana, 2017).

En América Latina, las ciudades están creciendo rápidamente; la cuantificación de estos cambios mediante la resolución temporal obtenida mediante drones permitirá el seguimiento, seguimiento y control de los procesos mediante levantamientos topográficos con fines catastrales; de esta manera, las imágenes fotográficas pueden determinar el número de

casas (Vera, 2017). Para lograrlo se deben realizar diagnósticos de la situación del territorio, las actividades se pueden realizar con mayor precisión si se dispone de información actual y se comprenden los cambios que ha experimentado el territorio a lo largo del tiempo. Un ejemplo es el mapeo y evaluación de cambios en áreas urbanas (Prado, 2017).

Villareal, J., (2015) Determinación precisa de área y volumen mediante levantamientos topográficos mediante RPAS. Este estudio utiliza puntos de control terrestre para verificar, evaluar y analizar la precisión de las mediciones del terreno de los UAV.

En El Salvador, los agricultores utilizaron el servicio de drones de la empresa, que puede tomar una serie de imágenes y determinar qué partes de los cultivos necesitan riego, pesticidas y fertilizantes; esta alternativa reduce el costo del uso eficiente de drones para aprovechar con precisión la contaminación ambiental causada por el grado de uso, y también reduce significativamente el tiempo de trabajo de quienes dedican medio día a completar el trabajo, cuando la alternativa toma solo 10 minutos; Los agricultores afirman que este servicio aumenta sus rendimientos en un 30% (Reyes, 2018).

Considerando las características requeridas que deben tener las aeronaves de ingeniería, el objetivo de este trabajo es diseñar, construir y evaluar un RPAS (Ala Aerodinámica Fija) con un sistema capaz de volar de forma autónoma y estable para adquirir imágenes georreferenciadas mediante sensores RGB (Santana, 2017).

La autoridad regulatoria del Perú es la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), que ejerce la autoridad en materia de aviación civil y cuyas funciones son vigilar, controlar, supervisar y sancionar todas las actividades de la aviación civil que no cumplan con las normas establecidas, es decir. los relacionados con el uso de actividades de aviación civil y su papel como organismo regulador que define la definición de RPAS (DGAC, 2015).

En esa línea, los (RPAS) como parte de las innovaciones tecnológicas han alcanzado hoy

en día un desarrollo que pueden desarrollarse en diversas ramas de la ingeniería, la DGAC estableció los requisitos para la operación de RPAS, siendo restringido el espacio aéreo hasta 152.4 m del punto de despegue y/o seguimiento de terreno, precisando como requisito que el operador debe contar con visibilidad al equipo, y con evaluación previa de las condiciones climatológicas libre de nubes, neblina y precipitación que afecten el sistema eléctrico (DGAC, 2015)

Díaz García (2015) concluyó: Los UAS/RPAS son alternativas al mapeo tradicional que mejoran significativamente el desempeño y brindan acceso a áreas peligrosas y difíciles. Con una planificación de vuelo sencilla y una rápida adquisición de imágenes, los UAS/RPAS son herramientas más precisas y rentables que la fotogrametría tradicional (levantamiento). Obtenga más precisión y resolución que la fotogrametría tradicional. (p. 67).

Dentro de las experiencias de éxito, tenemos a Antamina donde apuesta por las innovaciones tecnológicas que generen mayor eficiencia y calidad de las actividades, como es el caso del uso de los drones en las operaciones mineras, a más de 4300 msnm, para garantizar y alcanzar óptimos estándares de calidad que le permitan seguir implementando buenas prácticas en tema de seguridad (Antamina, 2021).

En la actualidad los drones comerciales operan por debajo de los 3,200 m.s.n.m, y los drones de ala fija que actualmente se comercializan tienen un alto costo, por lo que dificulta su uso en este ámbito geográfico (Barrón *et al.*, 2017). El uso de drones para trabajos de grandes alturas es complicado, ya que la densidad del aire y la presión atmosférica cambian, afectando al sistema de propulsión (motores, las hélices y las baterías) en consecuencia, limitando su autonomía de trabajo (Ferreira, 2015).

## **Marco conceptual**

En la actualidad los drones comerciales operan por debajo de los 3,200 m.s.n.m, y los drones de ala fija que actualmente se comercializan tienen un alto costo, por lo que dificulta su uso en este ámbito geográfico. El uso de drones para trabajos de grandes alturas es complicado, ya que la densidad del aire y la presión atmosférica cambian, afectando a los motores, las hélices y las baterías, en consecuencia, limitando su autonomía de vuelo (Medina, 2017).

Rabanal (2011) afirmó en su evaluación que el uso práctico de equipos electrónicos en RPAS y el control automático de equipos de aviación es una mejor herramienta técnica que los sistemas de radiocontrol. Este estudio evalúa diversas alternativas tecnológicas de fabricantes cuyos productos comparten las mismas características de hardware y determina la mejor alternativa para un sistema RPAS mediante software. El sistema RPAS Ardupilot Mega proporciona la mejor alternativa para trabajar con edición de código, simulación, compilación, interfaces gráficas (GCS) y control completo previo al vuelo y en vuelo de modelos de aeronaves. Al preprogramar el plan de vuelo, se puede visualizar la optimización de la trayectoria, lo que demuestra la superioridad de este sistema sobre los métodos tradicionales de radiocontrol. Este estudio utilizó el sistema de bajo costo Ardupilot Mega Unmanned Aerial Vehicle (UAV), que cuesta alrededor de \$500, lo que lo hace fácil de usar y competitivo con otros sistemas comerciales de UAV (Micropilot, UAV Navigator, etc.). Los hechos han demostrado que el uso del modo de estabilización puede lograr una trayectoria recta y estable del modelo de avión, reduciendo así los errores de rotación de las imágenes capturadas y el número de imágenes descartadas. (58. pp.).

Díaz García (2015) concluye en su estudio que los RPAS innovan el trabajo de levantamiento topográfico, ayudan a determinar áreas, volúmenes, perímetros, inventarios y seguimiento de obras, aumentando significativamente la eficiencia y eficacia frente a la

cartografía tradicional, aportando ventajas de accesibilidad para los gestores. - Áreas de riesgo y complejidad. En comparación con la topografía tradicional, los RPAS son una herramienta eficiente y económica debido a la simple planificación del vuelo y el procesamiento de imágenes, logrando resultados con mayor precisión y resolución que la topografía tradicional. (67. pp.).

Utilizando aplicaciones de algoritmos de control y código abierto de RPAS, se desarrolló una plataforma de vuelo experimental para probar estrategias de control de UAV. Tras describir los distintos componentes físicos que componen la plataforma, se presenta una aplicación desarrollada bajo LabView para la comunicación entre un helicóptero y una instalación fija. Finalmente, se presentan algunos resultados experimentales que confirman la funcionalidad de la aplicación, así como algunas mejoras realizadas en la misma (Medina, 2017). La fotogrametría es una disciplina basada en imágenes 2D que permiten la creación de modelos 3D que, como dice Jáuregui (Jáuregui Olazábal, 2021), permiten comprender las propiedades geométricas de los objetos representados a través de relaciones matemáticas utilizando la perspectiva geométrica. Dado que las imágenes se obtienen mediante fotografía y GPS remoto, no es necesario el contacto físico con el objeto de interés.

## 1.1. Formulación del problema

Como formulación del problema, se planteó la siguiente pregunta para absolver:  
¿Mediante La implementación un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS), de bajo coste, se podrá optimizar el proceso de levantamiento topográfico?

## 1.2. Objetivos

Implementar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS), de bajo coste, para optimizar los trabajos de levantamiento topográfico.

Los objetivos específicos

- Implementar un modelo de ala fija de bajo coste, para optimizar el proceso de levantamiento topográfico.
- Evaluar el levantamiento topográfico convencional y el realizados con el RPAS implementado.

## 1.3. Hipótesis

### 1.3.1. Hipótesis General.

Implementar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS), de bajo coste, para optimizar el proceso de levantamiento topográfico.

### 1.3.2. Hipótesis Específicas.

- Hipótesis específica 1

El uso de un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) de bajo coste, para fines de levantamiento topográfico, mejorará los trabajos de ingeniería.

- Hipótesis específica 2

El uso de un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) de bajo coste,



tendrá la capacidad de optimizar los procesos de levantamiento topográfico.

RPAS es una alternativa a la topografía tradicional que mejora significativamente el rendimiento y brinda acceso a áreas peligrosas y difíciles. Con una planificación de vuelo sencilla y una rápida adquisición de imágenes, RPAS es una herramienta más precisa y rentable que la fotogrametría tradicional (levantamiento). Alcanzar una mayor precisión y resolución respecto a la fotogrametría tradicional ayuda a optimizar el tiempo de trabajo y reducir los factores de riesgo para la vida, el cuerpo y la salud de los profesionales del ramo, por lo que es tan importante el desarrollo de esta tecnología.

El uso de este enfoque reduce significativamente el tiempo, el costo, el personal y los riesgos para otras personas en comparación con los métodos tradicionales. Los drones son herramientas topográficas muy útiles. Por un lado, ayudan en la investigación, cartografía y topografía, recopilación de información topográfica para el desarrollo de proyectos viales, minería, catastro urbano y rural, supervisión de ingeniería, evaluación de volúmenes, protección del patrimonio cultural, etc. útil. El objetivo de este trabajo es aportar más conocimientos teóricos para ampliar la investigación de esta tecnología e introducir innovaciones en otros sistemas de recogida de información en la superficie terrestre.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Tipo de investigación

La investigación propuesta se enmarca dentro del paradigma cuantitativo, característico por su enfoque en la cuantificación y la medición objetiva de fenómenos. El corpus central de este estudio se sustenta en la evaluación empírica de procedimientos topográficos, donde los datos numéricos juegan un papel fundamental. La naturaleza cuantitativa de la investigación permite un análisis estadístico riguroso y la posibilidad de generalizar los resultados a partir de la inferencia estadística (Reyes, 2018).

La intención aplicada de la investigación se refleja en su objetivo pragmático, que es identificar y evaluar módulos operativos capaces de optimizar el proceso de levantamiento topográfico. No se limita a la teoría; busca resultados que tengan aplicaciones prácticas inmediatas, proporcionando soluciones concretas que puedan ser implementadas en la práctica profesional.

El diseño de la investigación es experimental, lo que implica la manipulación deliberada de variables y el control riguroso de las condiciones para establecer relaciones de causa y efecto. Esto se evidencia en la comparación controlada de los métodos de levantamiento topográfico convencional y aquellos que utilizan RPAS, proporcionando un marco sólido para la atribución causal de las diferencias observadas en eficiencia y costos.

Además, el estudio tiene un diseño de corte transversal, lo que significa que los datos se recopilan en un único punto temporal. Este diseño es apropiado para estudios que buscan capturar una instantánea de un fenómeno en particular, en este caso, la efectividad de los métodos de levantamiento en un área geográfica específica y en un período de tiempo definido. Esta característica del diseño transversal es particularmente útil para estudios con

limitaciones de tiempo y recursos, proporcionando una visión significativa en un momento dado que puede ser crucial para la toma de decisiones.

El estudio está georreferenciado, lo que implica que todos los datos recogidos están vinculados a coordenadas geográficas específicas dentro de un área delimitada. Esto permite no solo la precisión en la recogida de datos sino también la relevancia espacial de los resultados, lo cual es esencial en el campo de la topografía donde la ubicación es un componente crítico.

La secuencia del diseño propuesto sigue la siguiente grafica



*Figura 1 Secuencia de variable*

**O** = Observación

**X1** = Variable (Comparación de levantamiento con RPAS y método convencional)

### **Población y muestra**

Valderrama (2013) manifiesta que “La población es el conjunto de Individuos que pertenecen a un área y/o ámbito geográfico donde se ubica el área de estudio”; los datos de la población analizada corresponden a las 318 hectáreas de los Humedales de Puerto viejo, Mala, Cañete, Lima,

Asimismo, Reyes, 2018 señala que el segmento de la representación de la población que debe ostentar las mismas características y composición, de esa manera los resultados obtenidos puedan ser generalizados hacia toda la población. La muestra analizada está conformada por el área de la zona de estudio.

En concordancia con las limitaciones prácticas y los objetivos específicos de la investigación, se optó por un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este enfoque se justifica por la selección intencionada y estratégica de sujetos de estudio que están inmediatamente disponibles y dispuestos a participar, lo que facilita la recolección eficiente de datos. La elección de un muestreo por conveniencia es especialmente común en estudios exploratorios donde la rapidez y la accesibilidad son primordiales, y en este caso, permite una comparación directa y pragmática de las técnicas de levantamiento topográfico en un contexto operativo específico (Reyes, 2018).

## **Técnicas y equipos de recolección y análisis**

### **Técnicas**

- En la investigación se utilizó la técnica de la observación y la medición

### **Equipos**

- RPAS implementado: XUAV- Talon
- 01 computadora portátil Core i7 12na generación
- Software Agisoft Metashare Professional 1.7.0
- Software Ardupilot en código abierto.

### **Paso 01: Selección y Ensamblaje**

Se procederá a realizar el ensamblaje de toda la electrónica en el RPAS, luego su configuración y calibración correspondiente, en vuelos manuales y programados

Se detalla la secuencia de trabajo.

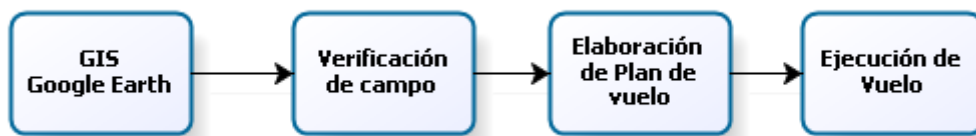


*Figura 2 Flujo de Trabajo para la actividad*

### **Paso 02: Requerimiento de equipos**

Para realizar la verificación de campo, con apoyo del sistema de Información Geográfica de Google Earth, y posteriormente se realizó la visita de campo in situ, para validar los puntos requeridos para los planes de vuelo para el levantamiento topográfico con RPAS.

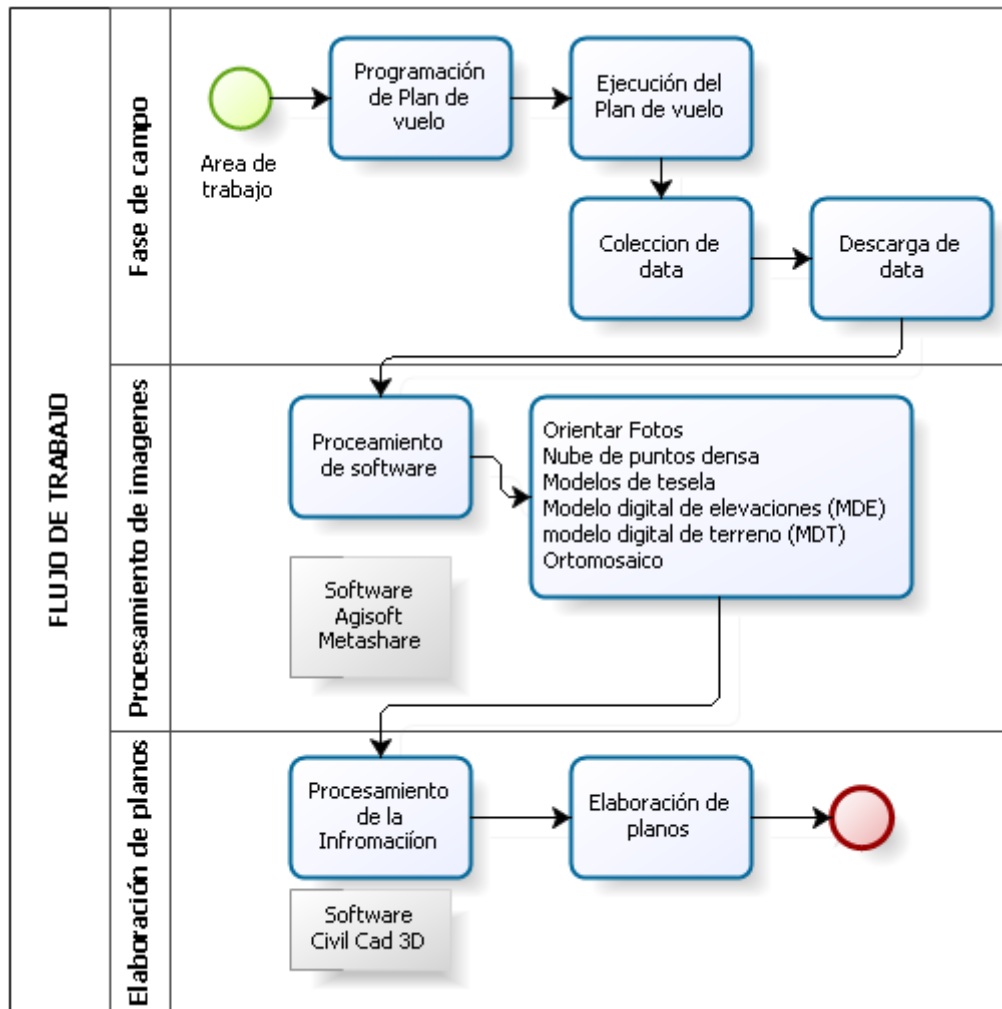
Para ello se detalla la secuencia de trabajo realizada:



*Figura 3 Secuencia de trabajo hasta la obtención de imágenes*

### **Paso 03: Procesamiento de análisis de datos.**

Para el procesamiento de las fotografías georreferenciadas, se utilizó una computadora de escritorio el cual fue extraída la información de la memoria de la cámara fotográfica, lo cual fue almacenada en una carpeta para su procesamiento con el Software Agisoft Metashape Professional.



*Figura 4 Flujo de trabajo de la secuencia de vuelo*

Así también, para la comprobación de la significancia de los cambios, se empleó el test de Kruskal-Wallis (mediante SPSS v.27), una prueba estadística no paramétrica, para contrastar las medianas de tiempos entre dos métodos de levantamiento topográfico: uno convencional y otro que utiliza RPAS. La elección de este método estadístico se justificó por las características de los datos recolectados. Los conjuntos de datos, pequeños en tamaño y potencialmente no normales en su distribución, no cumplían con las suposiciones necesarias para la aplicación de pruebas paramétricas como la t-test o ANOVA.

El test de Kruskal-Wallis es apropiado para comparar dos o más grupos independientes

cuando las suposiciones de normalidad no se sostienen. Esto es relevante, ya que el análisis de datos no mostró una distribución normal, lo cual es común en muestras pequeñas y en datos de campo como los del levantamiento topográfico (Marin & Vilela, 2023).

### **Consideraciones éticas**

La presente evaluación se realizó considerando los aspectos de la reserva, confidencialidad de la información de los hallazgos resultantes de la presente investigación, las cuales nos serán utilizados para otros fines ajenos a la investigación académica realizada

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la investigación tienen el propósito de responder a las preguntas desarrolladas en la formulación del problema, tomando en consideración las estrategias, resultados, la metodología implementada, como sustento cuantitativo para la investigación.

Con el objetivo de minimizar el esfuerzo presupuestal se aplicó la medición de datos en base a los RPAS que actualmente ofertan el mercado y las características técnicas de los componentes que serán usados para la arquitectura tecnológica.

De acuerdo a la selección que se oferta en el mercado encontramos bimotor y monomotor como se señala en la tabla 3; para ello es importante considerar para mapeo industrial, con características de portabilidad, de fácil operación, estabilizarle durable y resistencia, asimismo de fácil montaje y desmontaje, con amplio espacio para el alojamiento de la cámara de 24 megapíxeles, y batería para energizar los motores.

Tabla 1  
*Modelos comparativos de costos de celulosa EPO*

<b>Modelos</b>	<b>Costo (\$) incluye gastos de envío</b>
X-UAV Talon EPO	750
Believer 1960mm	5,850

Fuente: Elaboración propia.

Debido a las características descritas, se identificaron dos modelos conforme se describe en la tabla 3, para fines de nuestra investigación con el propósito de optimizar el coste se seleccionó el modelo X-UAV Talon EPO.

Asimismo, para la implementación del RPAS, fue necesario equipar con la arquitectura electrónica, la cuales tienen la característica de alta resistencia y durabilidad, para ello se ha elaborado la lista considerando las cantidades y costos unitarios.



Tabla 2  
*Presupuesto de los componentes electrónicos*

Componente electrónico	Unidad	Cantidad	Consto unitario (S/)	Subtotal (S/)
Emisora	Unidad	1	400.00	400.00
Receptor	Unidad	1	50.00	50.00
Variador	Unidad	1	70.00	70.00
Batería LiPo 4S	Unidad	2	800.00	1,600.00
Controladora de vuelo	Unidad	1	800.00	1,250.00
Módulo de telemetría	Unidad	2	800.00	1,600.00
Servomotores.	Unidad	6	65.00	390.00
Motor	Unidad	1	350.00	350.00
Hélice	Unidad	2	40.00	80.00
Tubo de Pitot	Unidad	1	150.00	150.00
Cámara de fotos A5100	Unidad	1	2,500.00	2,500.00
Monta y configuración	Glb	1		5,800.00
<b>Presupuesto total</b>				<b>14,240.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el RPAS ala fija X-UAV Talon EPO y los componentes electrónicos, para su implementación se ha tomado en consideración los algoritmos de código libre de Ardupilot, para ello se ha procedido de acuerdo a la siguiente secuencia.

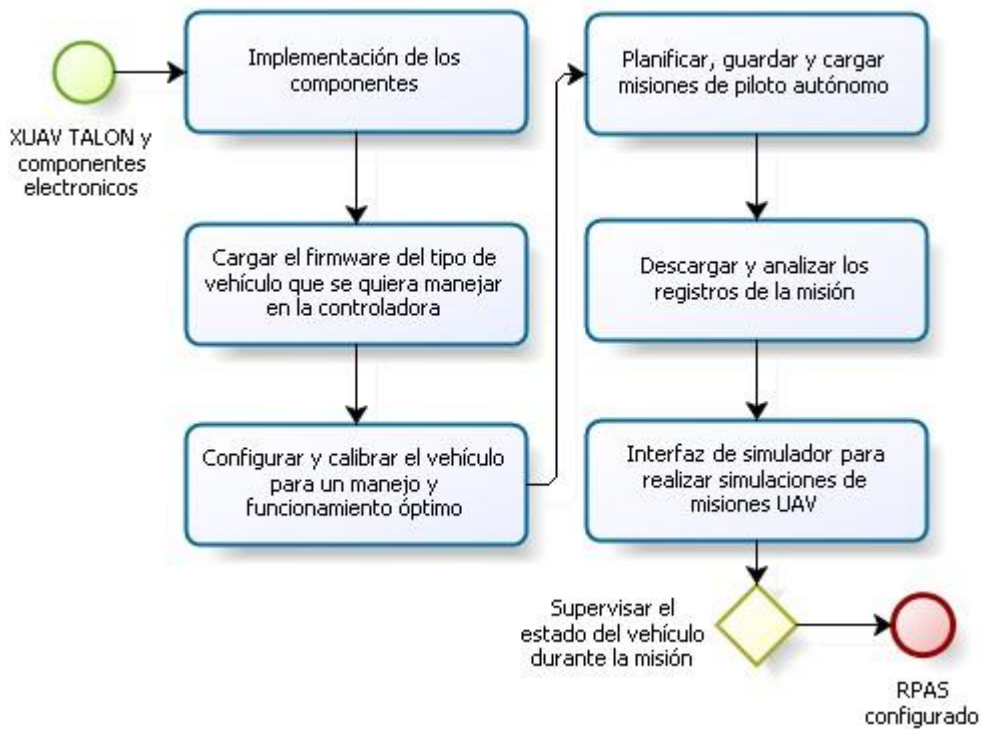


Figura 5 Flujo de trabajo para el procesamiento de Imágenes.

Con la configuración lista, se tiene el RPAS listo para trabajos de levantamiento topográficos.

### **Resultado de la evaluación del levantamiento topográfico realizados con RPAS implementado.**

Como parte del proceso para establecer el costo y tiempo requerido en el levantamiento topográficos se empleó el levantamiento topográfico tradicional y Levantamiento topográfico con RPAS, donde se pudo demostrar que tipo de levantamiento es el más eficiente y eficaz tomando en consideración a las variables tiempo, costo y precisión.

Para tener un análisis detallado de cada uno de las metodologías realizadas, se ha considerado los costos para el levantamiento topográfico de 318 ha de los humedales de Puerto viejo, para ello se detalla lo siguiente:

Para el levantamiento topográfico convencional, quiere decir el uso de estación total, demandó 12 días calendarios para los trabajos de campo y 04 días para el trabajo de procesamiento y resultados finales, tomando en consideración que el servicio fue a todo costo, tuvo un costo de S/ 44,298.14 soles como se aprecia en la tabla 3.

Asimismo, para el levantamiento topográfico con RPAS, para ello debemos considerar que se realizó con el RPAS XUAV Talon, a una altura de 100 metros, con un alcance de 100 hectáreas, con un tiempo de 55 minutos, entonces para cubrir nuestra demanda fue necesario realizar 3 vuelos, con un tiempo de ejecución de 3 horas, asimismo el área contaba con su punto de orden C, por lo que se realizó la colocación de 3 puntos de control para la georreferenciación de las fotos tomadas con el RPAS, y para el procesamiento y resultados se requirió 01 día. conforme se detalla en la presente tabla 4:

Tabla 3  
*Presupuesto para levantamiento topográfico tradicional de 318 hectáreas*

Tipo de Levantamiento	Actividades	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/)	Días	Subtotal	
Levantamiento convencional	Estación Diferencial Rentado	Glb	1	640.00	12.00	7,680.00	
	Topógrafo	Und	1	100.00	12.00	1,200.00	
	Ayudantes	Und	2	60.00	12.00	1,440.00	
	Movilidad (Camioneta 4*4)	Und	1	450.00	12.00	5,400.00	
	Puntos De Orden C	Und	3	1,100.00	12.00	3,300.00	
	Radios De Comunicación	Und	3	40.00	12.00	1,440.00	
	Viáticos (Alimentación y Hospedaje)	Glb	3	84.00	12.00	3,024.00	
	Trabajo De Gabinete	Glb	1	1,950.00	4.00	7,800.00	
	Costo directo						31,284.00
	Utilidad	20%					6,256.80
	Subtotal						37,540.80
	IGV	18%					6,757.34
<b>Presupuesto Total (S/)</b>						<b>44,298.14</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4  
*Presupuesto para levantamiento topográfico con RPAS de 318 hectáreas*

Tipo de Levantamiento	Actividades	Unidad	Cant.	Precio Unitario (S/)	Días	Subtotal	
Levantamiento Topográfico con RPAS	Alquiler de Dron	Glb	1	450.00	1.00	450.00	
	Operador	Und	1	85.00	1.00	85.00	
	Movilidad (Camioneta 4*4)	Und	1	450.00	1.00	450.00	
	Puntos de Orden C	Und	3	1,100.00	1.00	3,300.00	
	Viáticos (Alimentación Y Hospedaje)	Und	1	84.00	1.00	84.00	
	Trabajo de Gabinete	Und	1	5,500.00	1.00	5,500.00	
	Costo Directo						9,869.00
	Utilidad	20%					1,973.80
	Subtotal						11,842.80
	IGV	18%					2,131.70
<b>Presupuesto Total (S/)</b>						<b>13,974.50</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado podemos determinar que el levantamiento topográfico con RPAS es más eficiente comparado con el levantamiento tradicional cuyo costo es 3.17 veces mayor que el costo del levantamiento con uso de RPAS.

Tabla 5  
Comparativo de costos de levantamiento Tradicional y uso de RPAS

Presupuestos	Costo total	%
Tradicional	44,298.14	100.00%
Con uso de RPAS	13,974.50	31.55%

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra una reducción de costes estimados del presupuesto para levantamiento topográfico tradicional a un convencional, su representación es del 31.55% menos a lo calculado del tradicional mostrando un porcentaje representativo.

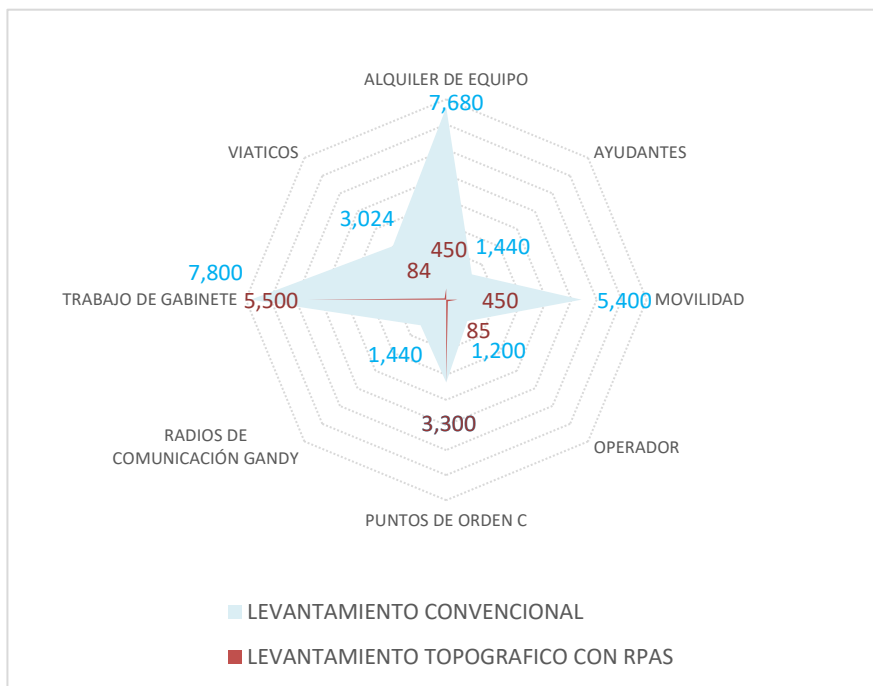


Figura 6. Mapa de importancia de acuerdo al presupuesto.

Para evaluar la optimización de tiempo se ha considerado los tiempos de ambos levantamientos.

Para el levantamiento topográfico tradicional se ha considerado 16 días efectivos para para el levantamiento topográfico de 318 hectáreas, conforme se ha desarrollado en la tabla siguiente:

Tabla 6  
*Tiempo para levantamiento topográfico con RPAS de 318 hectáreas*

Cronograma del levantamiento topográfico Convencional		Semana 01				Semana 02				Semana 03							
		días															
Ítem	Detalle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01.00	<b>Trabajo En Campo</b>																
01.01	Reconocimiento del lugar de Trabajo	■															
01.02	Identificación y Monumentación de Bm's	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1.03	radiación de puntos -Poligonales		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
02.00	<b>Trabajo En Gabinete</b>																
02.01	Procesamiento De Datos									■	■	■	■	■	■	■	■
02.02	Ploteo De Planos																■

Fuente: Elaboración propia.

Para el levantamiento topográfico con RPAS, se ha considerado el levantamiento en 3 días, es necesario precisar que el RPAS ala fija, tiene una eficiencia de 65 minutos de vuelo para un barrido de 10 hectáreas, conforme se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 7  
*Tiempo para levantamiento topográfico con RPAS de 318 hectáreas*

Cronograma del levantamiento topográfico con RPAS		Semana 01			
		Días			
Ítem	Detalle	1	2	3	4
01.00	<b>Trabajo En Campo</b>				
01.01	Reconocimiento Del Lugar De Trabajo	■	■	■	■
01.02	Identificación y Monumentación de Bm's	■	■	■	■
01.03	Vuelo del RPAS	■	■	■	■
02.00	<b>Trabajo En Gabinete</b>				
02.01	Procesamiento De Datos			■	■
02.02	Ploteo De Planos				■

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se ha tabulado los tiempos para cada actividad, y se realiza un análisis descriptivo de los resultados y se presenta en la figura siguiente:

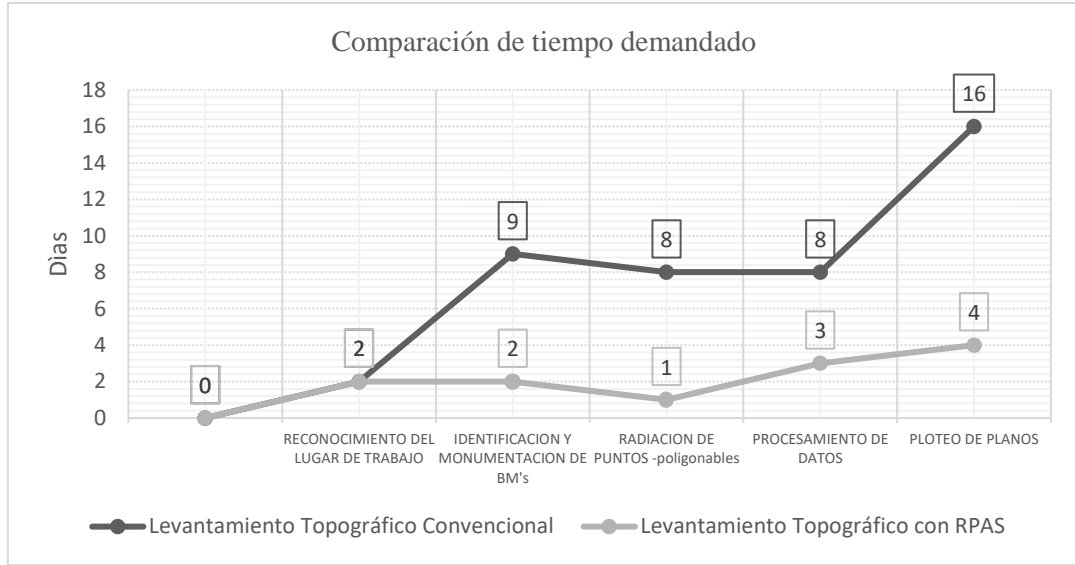


Figura 7. Estadística Descriptiva - Comparación de tiempos

Tabla 8  
Prueba de Kruskal-Wallis

Método	Coefficientes
H de Kruskal-Wallis	3,600
gl	1
Sig. Asin.	,005

Fuente: Elaboración propia.

Al obtener un valor P de 0.005, se determinó que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos, con un nivel de confianza del 99.5%. Esto indica que la mediana de los tiempos de levantamiento topográfico utilizando RPAS es significativamente menor que la del método convencional.

El resultado con un valor P tan bajo proporciona evidencia sustancial de que la implementación de RPAS podría optimizar el proceso de levantamiento topográfico, lo cual es consistente con el objetivo de la investigación de mejorar la eficiencia en la topografía. Dicha evidencia apoya la hipótesis de que la tecnología RPAS puede ser una alternativa

ventajosa respecto al método tradicional, lo cual podría traducirse en una recomendación práctica para su adopción en trabajos de campo topográficos.

Así, la utilización del test de Kruskal-Wallis ha permitido validar la hipótesis de investigación de forma rigurosa, aportando una contribución significativa al campo de la topografía y avalando la viabilidad de los sistemas RPAS como una herramienta de mejora en el levantamiento topográfico.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Discusión

Gasparetto (2020), en su investigación realizada, determino que la implementación de un ala fija, para ello utilizó el X UAV Talon, siendo el más eficiente y de clase industrial, con autonomía de mapeo de 75 minutos, estos resultados son similares a los hallados en nuestra investigación el cual se implementó el X UAV Talon con tiempo de vuelo de 80 minutos.

Tacca Quelca, (2015), en su investigación realizada, señala que el RPAS usado tiene mayor versatilidad con una grado de confianza del 95%; asimismo el trabajo de levantamiento topográfico con RPAS es 28% más eficiente que el mismo levantamiento topográfico convencional; asimismo para el costo del RPAS es 3.17 veces más económico que el levantamiento topográfico convencional; comparado con lo reportado por Chávez Arroyo (2018) donde el costo del levantamiento topográfico con RPAS es de 3.25 ms económico que el levantamiento topográfico tradicional.

Tello Vargas (2019), en los trabajos realizados concluyó que los trabajos con RPAS son más eficientes cuanto a tiempo, por lo que se puede aplicar la innovación en los trabajos de ingeniería, sin embargo, para el procesamiento de imágenes puede considerarse la compra del software o rentar por mapas, lo cual facilita los trabajos; para fines de nuestra investigación se rentó la plataforma para fines de procesamiento, el cual nos ayudó para el procesamiento final.

Es importante mencionar que ambos levantamientos coincidieron de manera efectiva con las zonas donde se ubicaron los BM (puntos de control), por lo que se puede concluir que mientras más puntos de control se utilicen para realizar ajustes, el levantamiento



topográfico tendrá mayor calidad, ello coincide con lo reportado Lervik Coates (2021) en su investigación desarrollo la serie de puntos de control terrestre para la georreferenciación de las imágenes.

De acuerdo a ello, se ha podido obtener resultados significativos, tomando en consideración el uso de RPAS y el levantamiento tradicional, es por ello que Lervik Coates (2021), considera que los tiempos de vuelo son importantes y van de manera proporcional a la expansión del área de estudio.

Dichos valores son similares a los hallados en nuestra presente investigación, cabe señalar que en nuestra investigación se consideró al Mission Planner como programa de código abierto, para el diseño y ejecución del plan de vuelo.

De acuerdo a la investigación realizada y los hallazgos obtenidos, podemos afirmar que estos equipos se pueden implementar en obra y hacer un adecuado uso, considerando las normativas establecidas por el órgano rector.

## Conclusiones

La finalidad del presente estudio fue evaluar la viabilidad de implementar un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) de bajo coste para optimizar el proceso de levantamiento topográfico en los humedales de Puesto Viejo. Los hallazgos se basaron en criterios cuantitativos de costo, tiempo y precisión, y se reforzaron mediante el empleo de pruebas estadísticas robustas.

En el aspecto económico, los resultados, detallados en la tabla 4, revelaron que el levantamiento topográfico con RPAS es 3.17 veces menos costoso en comparación con el método tradicional. Esta ventaja económica es significativa, considerando la necesidad constante de eficiencia en costos dentro de la práctica topográfica.

Respecto al tiempo, el análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis se obtuvo un P de 0.005, lo cual refleja una optimización significativa del tiempo de procesamiento con el uso de RPAS, siendo 5.3 veces más rápido que el método convencional. Este resultado subraya la eficacia del RPAS en la reducción de la duración de las operaciones de campo y gabinete, lo que potencialmente puede traducirse en una mayor productividad y eficiencia operativa.

En cuanto a la precisión, se constató que, si bien ambos métodos proporcionan datos congruentes para las coordenadas medidas, la precisión del RPAS puede mejorarse aún más implementarse modulo RTK en la aeronave, lo cual reduce significativamente el margen de error.

Sin embargo, se identificó un desafío relacionado con la capacidad de almacenamiento necesaria para procesar la información generada por el RPAS. Este

inconveniente subraya la importancia de disponer de equipos informáticos adecuados, capaces de manejar grandes volúmenes de datos y procesos computacionales intensivos.

La presente investigación ha demostrado, a través de un análisis metódico y la aplicación de pruebas estadísticas no paramétricas, que la implementación de un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) de bajo coste constituye una estrategia prometedora para optimizar los procesos de levantamiento topográfico en los humedales de Puerto Viejo. La significancia estadística obtenida en el test de Kruskal-Wallis, con un valor P de 0.005, subraya la eficacia del RPAS en la reducción del tiempo necesario para el levantamiento, a la vez que destaca su ventaja en la minimización de costos, siendo 3.17 veces menos costoso que los métodos tradicionales.

La investigación aporta a la disciplina topográfica al confirmar que, a pesar de la necesidad de compensar entre el trabajo de campo y gabinete, el tiempo total de procesamiento con RPAS es considerablemente inferior, evidenciando una mejora en la eficiencia de 5.3 veces en comparación con la topografía tradicional. A su vez, se destaca que la precisión de los levantamientos topográficos realizados con RPAS es comparable a la convencional, con la posibilidad de incrementarla mediante el uso de una mayor cantidad de puntos de control.

El estudio aporta evidencia sólida que respalda la adopción de RPAS en la topografía, especialmente en áreas de difícil acceso como los humedales. Aunque es crucial una evaluación cuidadosa de la precisión y la infraestructura tecnológica necesaria, el levantamiento topográfico con RPAS se presenta como una alternativa más económica y eficiente. Este hallazgo sienta un precedente valioso para futuras investigaciones y para la

práctica topográfica, alentando la innovación y la adaptación de nuevas tecnologías que mejoren los procesos y resultados en el campo.

## Referencias

- A. Valencia, E., H. Hidalgo, V., Álvaro Aguinaga, & Maricela Caldera, E. (2015). Estudio de tecnologías innovadoras para sistemas de propulsión en aeronaves. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 13.
- García Jaimes, L., & Arroyave Giraldo, M. (2019). Control predictivo del movimiento longitudinal y latero-direccional de una aeronave no tripulada. *Redalyc, Revista Politécnica*, 15.
- Solaque Guzmán, L., & Muñoz Ceballos, N. (2008). Aproximación al control de la fase de vuelo de un dirigible. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 18.
- Antamina. (20 de 03 de 2021). *Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia*. Obtenido de Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia: <https://www.antamina.com/noticias/innovacion-drones-antamina-caza-eficiencia/>
- Cardoso Parente, D., Carvalho Felix, N., & Pessoa Picanço, A. (2017). Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 02.
- Castillo Atoche, A., Aviles Viñas, J., Palma Marrufo, O., Canto Esquivel, J., & Atoche Enseñat, J. (2018). 3D Printed Mechatronic Design for Multispectral Camera Mounting Adapter on UAVs. *Ingeniería*, 22.
- Chavez Arroyo, & R. Rodriguez. (2018). En su tesis para obtener el título de IngenDiseño e implementación de un drone hexacóptero con software de geolocalización para señalar puntos de siembre en el fundo de palma aceitera witpalm. (*Tesis de Ingeniero Mecatrónico*). Universidad Ricardo Palma, Perú.

- Cortés, S. G. (2012). *Construcción de una aeronave pilotada remotamente (RPA) con fines cartográficos*. España: Universidad de Oviedo.
- DGAC, D. (2015). Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. *Norma Técnica Complementaria NTC: 001-2015*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones/ Viciministerio de Transporte, Perú.
- Díaz García Cervigón, J. J. (2015). *Tesis para obtener el Máster en Tecnología de la Información Geográfica Titulada: Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Eid, B., J. C., Albatsh, F., & Faris, F. (2013). Challenges of integrating unmanned aerial vehicles in civil application. *Materials Science and Engineering*, Vol. 53. doi: 10.1088/1757-899X/53/1/012092.
- Escalante Torrado, J., Cáceres Jiménez, J., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. 20.
- Garea LLano, E., Osorio Roig, D., & Chacón Cabrera, Y. (2018). Unsupervised Segmentation of Agricultural Crops in UAV RGB Images. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 4(12), 12.
- Gasparetto, V., R. Machado, M., & H.S. Carneiro, S. (2020). Experimental modal analysis of an aircraft wing prototype for SAE Aerodesign Competition. *Dyna*, 87.
- González Herrera, R., Ucán Navarrete, J., Sánchez y Pinto, I., Medina Esquivel, R., Árcega Cabrera, F., Zetina Moguel, C., & Casares Salazar, R. (2019). DRONES. APLICACIONES EN INGENIERÍA CIVIL Y GEOCIENCIAS. *Redalyc, Interciencia*, 44.

- Guadalupe Gino-Sosa, C., Benítez Rendón, E., & Díaz Rodríguez, M. (2017).  
PLATAFORMA PARA TRANSMISIÓN EN TIEMPO REAL DE DATOS Y  
VIDEO CON UAVs. *Redalyc, Ra Ximhai*, 13.
- Henao Hernández, Ó., Padilla Bejarano, J., & García Arias, J. (2011). Implementación de  
comunicación y algoritmos de control para UAV'S. *Scientia Et Technica*, 20-32.
- Hosseini, M., Nosratollahi, M., & Sadati, H. (2019). Multidisciplinary Design Optimization  
of UAV under Uncertainty. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2-  
9.
- Lervik Coates, E. M., & Fossen, T. I. (2021). Geometric Reduced-Attitude Control of Fixed-  
Wing UAVs. *Applied Sciences*, 10.3390/app11073147.
- Llugsí, R., & Escandón, R. (2018). Implementación de un prototipo para captura y  
procesamiento digital de imágenes térmicas adquiridas desde un UAV. *Enfoque  
UTE*, 8.
- LUDWIG, L., ANTÔNIO MATTEDI, M., & SILVA, R. (2020). DILEMAS Y  
PERSPECTIVAS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN EL CAMPO  
DE LA ARQUITECTURA Y URBANISMO. *Redalyc, Oculum Ensaíos*, 17.
- Marin Escalante, J. S., & Vilela Cabada, J. W. (2023). Análisis de un levantamiento  
fotogramétrico frente a un levantamiento topográfico entre los kilómetros 96 y 98  
del tramo PE-08B de la red vial nacional Cajamarca-Celendín.
- Medina, P., & Niño, J. (2017). *Tesina para obtener la especialización en Gestión de  
proyectos de ingeniería titulada "Diseño de un modelo de agricultura de precisión  
utilizando drones y un sistema de captura, almacenamiento y análisis de datos.*  
Bolívar y Santander: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Mendes dos Santos, L., Araújo e Silva Ferraz, G., Dienevan Souza, B., & Alan Delon

- Andrade, B. (2019). Use of remotely piloted aircraft in precision agriculture: a review. *Redalyc, Dyna*, 89.
- Meneses, V. A., Téllez, J. M., & Velasquez, D. F. (2015). Uso De Drones Para El Analisis De Imágenes Multiespectrales En Agricultura De Precisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 28-40.
- Ortiz Valencia, P., & Gutiérrez Zea, L. (2009). Modelo matemático para un vehículo aéreo no tripulado de ala fija, usando un estimador de parámetros "filtro de kalman". *TecnoLógicas*, 22.
- Ottawa, O. E. (2020). *El mercado de los Drones en Canada*. Otawa: ICEX España.
- Pérez Paredes, J., López Canteñs,, G., Noé Velázquez López, N., & López Cruz, I. (2021). Evaluación de un prototipo de RPAS para el levantamiento topográfico con imágenes RGB. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11.
- Pérez Sánchez, H., Benítez Rendón, E., & Díaz-Rodríguez, M. (2017). SISTEMA DE GEOREFERENCIADO DE IMÁGENES CON DRONES. *Redalyc, Ra Ximhai*, 03.
- Pérez-Paredes, J., López Canteñs, G., Velázquez López, N., & Irineo L. López Cruz, I. (2021). Evaluation of a Remote Piloted Aircraft System (RPAS) for Agricultural Use (Part II). *Redalyc, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30.
- Prado, D. P. (2017). Drones en espacios urbanos: Caso de estudio en parques, jardines y patrimonio edificado de Cuenca. *Scielo*, Estoa vol.6 no.11; 4051000 ext 2104/2101.
- Rabanal, D. (2011). *Tesis para obtener el título de Ingeniero Electrónico titulado: "Integración de un sistema UAV con control autónomo en un equipo aéreo para agricultura de precisión"*. Perú: En su tesis para obtener el título de Ingeniero Electrónico titulado: "Integración de un sistema UAV con conPontificia Universidad Católica del Perú, .



Tello Vargas, C. A., & Herrera Victorio, E. G. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DRONE DE ALA FIJA PARA EL ESTUDIO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL FUNDO ALTAMIRANO - ICA*. Lima: TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECATRÓNICO.

Vasconcelos Fernandes, R., Fonseca Cabral, A., Batista Dantas, G., Varela Tinoco, V., Azevedo da Silveira, B., & Sousa Junior, A. (2021). Mapping of pathological manifestations in asphalt pavement through the use of drones. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 11.

Xue, R., & Cai, G. (2016). Formation Flight Control of Multi-UAV System with Communication Constraints. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 9.

## Anexos

**ANEXO N° 1 Panel fotográfico de la implementación del RPAS.**

				
<i>Figura 1.</i> Vista exterior, se realiza la medida para el corte en el fuselaje para el soporte de la cámara	<i>Figura 2.</i> Vista exterior, realizado el corte con el cúter se inserta la pieza impresa en 3D que será soporte de la Cámara	<i>Figura 3.</i> Vista Interior, parte del fuselaje, colocando las partes para su integración previa al pegado final.	<i>Figura 4.</i> Vista posterior, realizada la integración, y la precisión de las piezas 3D, se procede a realizar la limpieza y pegado.	<i>Figura 5.</i> Vista posterior, integración final de las partes, una vez el pegamento este seco, se evidencia rigidez en la estructura.
				
<i>Figura 6.</i> Vista interior del ala, presentación de soporte para servo	<i>Figura 7.</i> Vista Interior ala y la extensión de ala, previa al pegado	<i>Figura 8.</i> Vista Interior, integración preliminar previa al pegado del ala.	<i>Figura 9.</i> Extensión de ala acoplada, con servo instalado y protector de servo.	<i>Figura 10.</i> Vista posterior del ala con la extensión de ala acoplada y protegida.
				

## ANEXO N° 2 Panel fotográfico de los trabajos en campo.



### ANEXO N° 3: Parámetros de vuelo

#NOTE: 20/02/2023 19:48:09 Plane: XUAV TALON EPO

ACRO\_LOCKING,0  
ACRO\_PITCH\_RATE,180  
ACRO\_ROLL\_RATE,180  
AHRS\_COMP\_BETA,0.1  
AHRS\_GPS\_GAIN,1  
AHRS\_GPS\_MINSATS,6  
AHRS\_GPS\_USE,1  
AHRS\_ORIENTATION,0  
AHRS\_RP\_P,0.2  
AHRS\_TRIM\_X,0.01549552  
AHRS\_TRIM\_Y,0.01625816  
AHRS\_TRIM\_Z,0  
AHRS\_WIND\_MAX,0  
AHRS\_YAW\_P,0.2  
ALT\_CTRL\_ALG,0  
ALT\_HOLD\_FBWCM,4000  
ALT\_HOLD\_RTL,8000  
ALT\_MIX,1  
ALT\_OFFSET,0  
ARMING\_CHECK,0  
ARMING\_REQUIRE,0  
ARMING\_RUDDER,1  
ARSPD\_AUTOCAL,0  
ARSPD\_ENABLE,1  
ARSPD\_FBW\_MAX,22  
ARSPD\_FBW\_MIN,9  
ARSPD\_OFFSET,128.5366  
ARSPD\_PIN,0  
ARSPD\_RATIO,1.9936  
ARSPD\_SKIP\_CAL,0  
ARSPD\_TUBE\_ORDER,2  
ARSPD\_USE,0  
AUTO\_FBW\_STEER,0  
AUTOTUNE\_LEVEL,6  
BATT\_AMP\_OFFSET,0  
BATT\_AMP\_PERVOLT,18.0018  
BATT\_CAPACITY,5000  
BATT\_CURR\_PIN,12  
BATT\_MONITOR,4  
BATT\_VOLT\_MULT,2.029915  
BATT\_VOLT\_PIN,13  
BATT2\_AMP\_OFFSET,0  
BATT2\_AMP\_PERVOL,17  
BATT2\_CAPACITY,3300  
BATT2\_CURR\_PIN,12

BATT2\_MONITOR,0  
BATT2\_VOLT\_MULT,10.1  
BATT2\_VOLT\_PIN,13  
BRD\_SERIAL\_NUM,0  
CAM\_DURATION,10  
CAM\_SERVO\_OFF,1100  
CAM\_SERVO\_ON,1300  
CAM\_TRIGG\_DIST,0  
CAM\_TRIGG\_TYPE,0  
COMPASS\_AUTODEC,1  
COMPASS\_DEC,0  
COMPASS\_EXTERNAL,1  
COMPASS\_LEARN,1  
COMPASS\_MOT\_X,0  
COMPASS\_MOT\_Y,0  
COMPASS\_MOT\_Z,0  
COMPASS\_MOTCT,0  
COMPASS\_OFS\_X,-79.58958  
COMPASS\_OFS\_Y,11.02131  
COMPASS\_OFS\_Z,4.412532  
COMPASS\_ORIENT,8  
COMPASS\_USE,1  
ELEVON\_CH1\_REV,0  
ELEVON\_CH2\_REV,0  
ELEVON\_MIXING,0  
ELEVON\_OUTPUT,0  
ELEVON\_REVERSE,0  
FBWA\_TDRAG\_CHAN,0  
FBWB\_CLIMB\_RATE,2  
FBWB\_ELEV\_REV,0  
FENCE\_ACTION,0  
FENCE\_AUTOENABLE,0  
FENCE\_CHANNEL,0  
FENCE\_MAXALT,0  
FENCE\_MINALT,0  
FENCE\_RET\_RALLY,0  
FENCE\_RETALT,0  
FENCE\_TOTAL,0  
FLAP\_1\_PERCNT,0  
FLAP\_1\_SPEED,0  
FLAP\_2\_PERCNT,0  
FLAP\_2\_SPEED,0  
FLAP\_IN\_CHANNEL,0  
FLAP\_SLEWRATE,75  
FLAPERON\_OUTPUT,0  
FLTMODE\_CH,5  
FLTMODE1,0  
FLTMODE2,6

FLTMODE3,0  
FLTMODE4,2  
FLTMODE5,7  
FLTMODE6,0  
FORMAT\_VERSION,13  
FS\_BATT\_MAH,0  
FS\_BATT\_VOLTAGE,0  
FS\_GCS\_ENABL,0  
FS\_LONG\_ACTN,1  
FS\_LONG\_TIMEOUT,2  
FS\_SHORT\_ACTN,0  
FS\_SHORT\_TIMEOUT,1  
GCS\_PID\_MASK,0  
GLIDE\_SLOPE\_MIN,15  
GLIDE\_SLOPE\_THR,5  
GND\_ABS\_PRESS,50339  
GND\_ALT\_OFFSET,0  
GND\_TEMP,12.51487  
GPS\_GNSS\_MODE,0  
GPS\_MIN\_ELEV,-100  
GPS\_NAVFILTER,8  
GPS\_SBAS\_MODE,2  
GPS\_TYPE,1  
GROUND\_STEER\_ALT,0  
GROUND\_STEER\_DPS,90  
HIL\_ERR\_LIMIT,5  
HIL\_SERVOS,0  
INITIAL\_MODE,0  
INS\_ACCEL\_FILTER,20  
INS\_ACCOFFS\_X,0.02787458  
INS\_ACCOFFS\_Y,0.1688624  
INS\_ACCOFFS\_Z,1.067015  
INS\_ACCSCAL\_X,0.9921325  
INS\_ACCSCAL\_Y,0.9922341  
INS\_ACCSCAL\_Z,1.000189  
INS\_GYRO\_FILTER,20  
INS\_GYROFFS\_X,-0.01834715  
INS\_GYROFFS\_Y,-0.04125714  
INS\_GYROFFS\_Z,0.04461474  
INS\_PRODUCT\_ID,88  
INS\_USE,1  
INVERTEDFLT\_CH,0  
KFF\_RDDRMIX,0.251  
KFF\_THR2PTCH,0  
LAND\_DISARMDELAY,20  
LAND\_FLAP\_PERCNT,0  
LAND\_FLARE\_ALT,3  
LAND\_FLARE\_SEC,2

LAND\_PITCH\_CD,0  
LEVEL\_ROLL\_LIMIT,5  
LIM\_PITCH\_MAX,2997  
LIM\_PITCH\_MIN,-2500  
LIM\_ROLL\_CD,7000  
LOG\_BITMASK,16254  
MAG\_ENABLE,1  
MIN\_GNDSPD\_CM,0  
MIS\_RESTART,0  
MIS\_TOTAL,0  
MIXING\_GAIN,0.7  
NAV\_CONTROLLER,1  
NAVL1\_DAMPING,0.75  
NAVL1\_PERIOD,20  
PTCH2SRV\_D,0.02  
PTCH2SRV\_FF,0  
PTCH2SRV\_I,0.04  
PTCH2SRV\_IMAX,3000  
PTCH2SRV\_P,0.6  
PTCH2SRV\_RLL,1  
PTCH2SRV\_RMAX\_DN,0  
PTCH2SRV\_RMAX\_UP,0  
PTCH2SRV\_TCONST,0.5  
RALLY\_INCL\_HOME,0  
RALLY\_LIMIT\_KM,5  
RALLY\_TOTAL,0  
RC1\_DZ,30  
RC1\_MAX,2013  
RC1\_MIN,999  
RC1\_REV,1  
RC1\_TRIM,999  
RC10\_DZ,0  
RC10\_FUNCTION,0  
RC10\_MAX,1900  
RC10\_MIN,1100  
RC10\_REV,1  
RC10\_TRIM,0  
RC11\_DZ,0  
RC11\_FUNCTION,0  
RC11\_MAX,1900  
RC11\_MIN,1100  
RC11\_REV,1  
RC11\_TRIM,0  
RC2\_DZ,30  
RC2\_MAX,2016  
RC2\_MIN,991  
RC2\_REV,-1  
RC2\_TRIM,1484



RC3\_DZ,30  
RC3\_MAX,2015  
RC3\_MIN,991  
RC3\_REV,1  
RC3\_TRIM,1494  
RC4\_DZ,30  
RC4\_MAX,2016  
RC4\_MIN,991  
RC4\_REV,1  
RC4\_TRIM,1511  
RC5\_DZ,0  
RC5\_FUNCTION,0  
RC5\_MAX,992  
RC5\_MIN,991  
RC5\_REV,1  
RC5\_TRIM,991  
RC6\_DZ,0  
RC6\_FUNCTION,1  
RC6\_MAX,1498  
RC6\_MIN,1497  
RC6\_REV,1  
RC6\_TRIM,1498  
RC7\_DZ,0  
RC7\_FUNCTION,0  
RC7\_MAX,1498  
RC7\_MIN,1497  
RC7\_REV,1  
RC7\_TRIM,1497  
RC8\_DZ,0  
RC8\_FUNCTION,0  
RC8\_MAX,1498  
RC8\_MIN,1497  
RC8\_REV,1  
RC8\_TRIM,1498  
RCMAP\_PITCH,3  
RCMAP\_ROLL,2  
RCMAP\_THROTTLE,1  
RCMAP\_YAW,4  
RELAY\_DEFAULT,0  
RELAY\_PIN,13  
RELAY\_PIN2,-1  
RELAY\_PIN3,-1  
RELAY\_PIN4,-1  
RLL2SRV\_D,0.02  
RLL2SRV\_FF,0  
RLL2SRV\_I,0.04  
RLL2SRV\_IMAX,3000  
RLL2SRV\_P,0.7

RLL2SRV\_RMAX,0  
RLL2SRV\_TCONST,0.5  
RNGFND\_LANDING,0  
RSSI\_PIN,-1  
RSSI\_RANGE,5  
RST\_MISSION\_CH,0  
RST\_SWITCH\_CH,0  
RTL\_AUTOLAND,0  
RUDDER\_ONLY,0  
SCALING\_SPEED,15  
SCHED\_DEBUG,0  
SERIAL0\_BAUD,115  
SERIAL1\_BAUD,57  
SERIAL1\_PROTOCOL,1  
SERIAL2\_BAUD,57  
SERIAL2\_PROTOCOL,1  
SERIAL3\_BAUD,38  
SERIAL3\_PROTOCOL,5  
SERIAL4\_BAUD,38  
SERIAL4\_PROTOCOL,5  
SKIP\_GYRO\_CAL,0  
SR0\_EXT\_STAT,2  
SR0\_EXTRA1,4  
SR0\_EXTRA2,4  
SR0\_EXTRA3,2  
SR0\_PARAMS,10  
SR0\_POSITION,2  
SR0\_RAW\_CTRL,2  
SR0\_RAW\_SENS,2  
SR0\_RC\_CHAN,5  
SR1\_EXT\_STAT,2  
SR1\_EXTRA1,2  
SR1\_EXTRA2,2  
SR1\_EXTRA3,2  
SR1\_PARAMS,10  
SR1\_POSITION,2  
SR1\_RAW\_CTRL,2  
SR1\_RAW\_SENS,2  
SR1\_RC\_CHAN,2  
STAB\_PITCH\_DOWN,2  
STALL\_PREVENTION,1  
STEER2SRV\_D,0.005  
STEER2SRV\_FF,0  
STEER2SRV\_I,0.2  
STEER2SRV\_IMAX,1500  
STEER2SRV\_MINSPD,1  
STEER2SRV\_P,1.8  
STEER2SRV\_TCONST,0.75

STICK\_MIXING,1  
SYS\_NUM\_RESETS,154  
SYSID\_MYGCS,255  
SYSID\_SW\_TYPE,0  
SYSID\_THISMAV,1  
TECS\_CLMB\_MAX,5  
TECS\_HGT\_OMEGA,3  
TECS\_INTEG\_GAIN,0.1  
TECS\_LAND\_ARSPD,-1  
TECS\_LAND\_DAMP,0.5  
TECS\_LAND\_PMAX,10  
TECS\_LAND\_SINK,0.25  
TECS\_LAND\_SPDWGT,1  
TECS\_LAND\_TCONST,2  
TECS\_LAND\_THR,-1  
TECS\_PITCH\_MAX,0  
TECS\_PITCH\_MIN,0  
TECS\_PTCH\_DAMP,0  
TECS\_RLL2THR,10  
TECS\_SINK\_MAX,5  
TECS\_SINK\_MIN,2  
TECS\_SPD\_OMEGA,2  
TECS\_SPDWEIGHT,1  
TECS\_THR\_DAMP,0.5  
TECS\_TIME\_CONST,5  
TECS\_VERT\_ACC,7  
TELEM\_DELAY,0  
THR\_FAILSAFE,1  
THR\_FS\_VALUE,992  
THR\_MAX,90  
THR\_MIN,0  
THR\_PASS\_STAB,0  
THR\_SLEWRATE,100  
THR\_SUPP\_MAN,0  
THROTTLE\_NUDGE,1  
TKOFF\_FLAP\_PCNT,0  
TKOFF\_ROTATE\_SPD,0  
TKOFF\_TDRAG\_ELEV,0  
TKOFF\_TDRAG\_SPD1,0  
TKOFF\_THR\_DELAY,2  
TKOFF\_THR\_MAX,0  
TKOFF\_THR\_MINACC,0  
TKOFF\_THR\_MINSPD,0  
TKOFF\_THR\_SLEW,0  
TRIM\_ARSPD\_CM,900  
TRIM\_AUTO,1  
TRIM\_PITCH\_CD,0  
TRIM\_RC\_AT\_START,0

TRIM\_THROTTLE,30  
VTAIL\_OUTPUT,3  
WP\_LOITER\_RAD,60  
WP\_MAX\_RADIUS,0  
WP\_RADIUS,90  
YAW2SRV\_DAMP,0  
YAW2SRV\_IMAX,1500  
YAW2SRV\_INT,0  
YAW2SRV\_RLL,1  
YAW2SRV\_SLIP,0

### ANEXO N° 3: Parámetros de vuelo el software Mission Planner

