



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



Universidad de la República - Facultad de Ingeniería  
Instituto de Agrimensura

Proyecto de grado para optar por el título de  
INGENIERO/A AGRIMENSOR/A

# Estudio comparativo de relevamientos rurales, en predios de 3 a 6 Ha, con diferentes UAV

Autores: Valentina Silveira Moraiz y Álvaro Esteve Ospitaleche

Tutora: Dra. Ing. Agrim. Rosario Casanova.

Co-tutor: Ing. Agrim. Bruno Silveira.

Montevideo, Uruguay  
Septiembre de 2022

**1- Página de Aprobación**

## FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los de abajo firmantes aprueba la Tesis de investigación:

Título: Estudio comparativo de relevamientos rurales con diferentes UAV

Autores: Valentina Silveira Moraiz y Álvaro Esteve Ospitaleche

Tutora: Dra. Ing. Agrim. Rosario Casanova

Co-tutor: Ing. Agrim. Bruno Silveira

Carrera: Agrimensura

Puntaje:

Tribunal

Profesor:.....(Nombre y firma)

Profesor:.....(Nombre y firma)

Profesor:.....(Nombre y firma)

Fecha: 5 de Setiembre del 2022

## **2- Agradecimientos**

Comenzando con los agradecimientos, queremos agradecer principalmente, a nuestros padres, Valeria Moraiz, Ernesto Silveira, Nair Ospitaleche y Claudio Esteve, por el amor, el cariño, el aguante, por enseñarnos a seguir adelante siempre y luchar por nuestros sueños. También a toda nuestra familia y parejas por las contenciones, alegrías y consejos que nos mantuvieron firmes en todo este camino.

A los docentes y funcionarios de todo el Instituto de Agrimensura, que nos acompañaron y guiaron a lo largo de este camino, brindándonos además de sus conocimientos, un ambiente agradable y de respeto. Especialmente a nuestros tutores, Rosario Casanova y Bruno Silveira quienes dedicaron su tiempo, paciencia y fines de semana para que este proyecto se haga realidad. También un especial reconocimiento a los docentes que nos ayudaron, evacuando dudas y brindando sus puntos de vista, en nuestro proyecto.

A la oportunidad que nos brinda la Universidad de la República, de estudiar esta carrera que tanto nos representa y nos gusta, teniendo siempre sus puertas abiertas.

A los compañeros y amigos, que nos encontramos y nos acompañaron en este camino, por las charlas, risas, lágrimas ¡y las copas!, porque siempre supieron estar, de una forma u otra, gracias.

Por último y no menos importante, a las personas, empresas y administradores que nos prestaron el equipamiento y personal para poder llevar a cabo los relevamientos efectuados para el proyecto.

**¡Gracias TOTALES!**

## Tabla de Contenido

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1- Página de Aprobación                                                         | 2  |
| 2- Agradecimientos                                                              | 3  |
| 3- Resumen                                                                      | 6  |
| 4- Introducción                                                                 | 7  |
| 4.1 Objetivo General                                                            | 8  |
| 4.2 Objetivos Específicos                                                       | 8  |
| 5- Marco Teórico                                                                | 9  |
| 5.1 Geodesia                                                                    | 9  |
| 5.1.1 Posicionamiento Diferencial en Tiempo Real                                | 9  |
| 5.1.2 Post Proceso Cinemático                                                   | 10 |
| 5.2 Fotogrametría                                                               | 10 |
| 5.2.1 UAV                                                                       | 15 |
| 5.2.2 Normativa                                                                 | 17 |
| 5.3 Planos de Mensura                                                           | 19 |
| 6- Metodología Aplicada                                                         | 20 |
| 6.1 Elección del Área de Estudio                                                | 20 |
| 6.2 Relevamiento de Campo                                                       | 23 |
| 6.2.1 Relevamiento con GNSS                                                     | 24 |
| 6.2.2 Relevamientos con UAV                                                     | 24 |
| 6.3 Procesamiento                                                               | 28 |
| 6.3.1 Tipos de Procesamientos                                                   | 28 |
| 6.3.2 Cálculos de Centros de Fotos con PPK                                      | 30 |
| 6.3.3 PIX4DMapper                                                               | 33 |
| 6.3.4 Obtención de Área y Deslinde                                              | 36 |
| 6.3.5 Comparaciones                                                             | 36 |
| 7- Presentación de Resultados y Análisis                                        | 38 |
| 7.1 Presentación de Resultados: Centros de Fotos                                | 38 |
| 7.2 Presentación de Resultados: Áreas y Lados                                   | 44 |
| 7.2.1 Análisis de Resultados Mediante Histogramas                               | 48 |
| 7.2.2 Análisis de los Valores Más Notorios en Área y Lados                      | 52 |
| 7.3 Presentación de Resultados y Análisis de Datos Obtenidos con Wingtra Gen II | 56 |
| 7.3.1 Presentación de Resultados: Centros de Fotos                              | 56 |
| 7.3.2 Presentación de Resultados: Áreas y Lados                                 | 57 |
| 7.3.3 Análisis de Resultados Mediante Histogramas                               | 59 |
| 7.3.4 Análisis de los Valores Más Notorios en Área y Lados                      | 60 |
| 7.4 Matriz de comparación                                                       | 61 |
| 7.4.1 Costos fijos                                                              | 62 |
| 7.4.2 Porcentaje promedio de diferencias de lados                               | 64 |
| 7.4.3 Porcentaje promedio de diferencias de áreas                               | 65 |
| 7.4.4 Costos Variables                                                          | 67 |



|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 7.4.5 Matriz de comparación: Costo-Beneficio     | 73 |
| 8- Conclusiones/Reflexiones                      | 74 |
| 9- Referencias                                   | 77 |
| Apéndice A. Tablas con resultados                | 79 |
| Apéndice B. Instrumental necesario para el campo | 82 |
| Apéndice C. Planificación de ida a campo         | 83 |

### 3- Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo entre diferentes Unmanned Aerial Vehicle (UAV), tomando como base, un relevamiento tradicional con receptor Global Navigation Satellite System (GNSS). Con los datos obtenidos se realiza un estudio comparativo de áreas y medidas de los lados, de relevamientos de predios rurales.

Para realizar este estudio comparativo se utilizan UAV de gama alta, media y baja (Wingtra Gen II, Phantom 4 RTK y Mavic 2 Pro respectivamente), siendo el Mavic 2 Pro procesado de dos maneras diferentes: sin incluir puntos de apoyo e incluyendo puntos de apoyo (realizando un total de cuatro procesamientos).

Así mismo, se realiza una matriz de comparación en la que se estudia con cual de los procesos realizados se obtiene una mejor relación costo-beneficio.

Luego de analizar los resultados obtenidos, mediante histogramas y diagramas de cajas, se concluye que todas las diferencias porcentuales de los lados se encuentran dentro del intervalo  $\pm 2,10 \%$ , mientras que todas las diferencias porcentuales en las áreas se encuentran dentro del intervalo  $\pm 1,80 \%$ .

En cuanto a la matriz de costo-beneficio, el UAV que presenta mejor relación es el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, seguido por el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo.

#### 4- Introducción

Dado el avance de la tecnología en el instrumental utilizado por el Ingeniero Agrimensor, surge la interrogante de si las tareas tradicionales del profesional, tal como lo son los relevamientos rurales, pueden ser realizadas adecuadamente con un UAV. Considerando el receptor GNSS como base instrumental, y tomando las tolerancias exigidas por la Dirección Nacional de Catastro (DNC).

Algunas de las preguntas que impulsaron la presente investigación son las siguientes:

¿Hay diferencias en cuanto a precisiones, costos y tiempos en realizar relevamientos rurales con diferentes tipos de UAV, de gama alta, media y baja?

¿Existen diferencias geométricas y de precisión entre el producto obtenido con relevamiento GNSS y con UAV?

¿Qué costo tiene la generación de insumos para realizar relevamiento, incluyendo equipo, tiempo y dificultad?

¿Se pueden alcanzar las tolerancias exigidas por la Dirección Nacional de Catastro para poder inscribir planos de mensuras rurales realizados con UAV?

Se propone la siguiente investigación para analizar las diferencias de los productos obtenidos con UAV respecto a los relevados con GNSS. El proceso a realizar consiste en relevar varios inmuebles rurales, con GNSS y relevamientos fotogramétricos con distintos tipos de UAV (gama alta, media y baja; con y sin Real Time Kinematic (RTK), Post Processed Kinematic (PPK) y puntos de apoyo). Una vez realizados los relevamientos, se calculan las áreas y medidas de los lados (deslindes) de cada predio, en el caso de los UAV a través de las ortofotos y en el caso del GNSS, a través de los puntos relevados. Se prosigue con la comparación estadística de los deslindes y áreas obtenidos con cada metodología.

Adicionalmente, el estudio analiza los costos asociados a cada proceso, incluyendo equipos, software, tiempos y dificultad en cada caso.

#### **4.1 Objetivo General**

Realizar un estudio comparativo entre diferentes UAV, tomando como base, un relevamiento tradicional con GNSS para su comparación. Con los datos obtenidos se realiza un estudio comparativo de áreas y deslindes, de relevamientos de predios rurales.

#### **4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar vuelos fotogramétricos sobre predios rurales con diferentes tipos de UAV y diferentes procesamientos.
- Obtener ortomosaico de cada predio rural.
- Realizar relevamiento con equipo GNSS de los predios rurales.
- Extraer medidas de lados (deslindes) y áreas de cada predio.
- Analizar y comparar los productos obtenidos de los diferentes procedimientos/ relevamientos.
- Medir la relación costo-beneficio de cada relevamiento realizado.

## 5- Marco Teórico

En este capítulo, se exponen los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión y justificación de la metodología elegida. Se presentan conceptos teóricos geodésicos, fotogramétricos y catastrales en los cuales se sustenta la investigación. Además se describe el instrumental a utilizar con sus principales características.

### 5.1 Geodesia

El término GNSS abarca a los sistemas de navegación por satélite, ellos proporcionan y aseguran un posicionamiento rápido a nivel global. Está compuesto en la actualidad por las constelaciones de los satélites GPS, GLONASS, GALILEO, BeiDou, entre otros. (Berné Valero, J. L., Anquela Julián, A. B., & Garrido Villén, N. 2014).

#### 5.1.1 Posicionamiento Diferencial en Tiempo Real

Según el artículo realizado por el Ing. Roberto Pérez Rodino en el año 2012:

Para hacer un posicionamiento en tiempo real, necesitamos un equipo que reciba las señales de los satélites GNSS, procese los observables y envíe dichos datos por algún tipo de enlace, al equipo móvil, conjuntamente con las coordenadas de su estación.

El equipo móvil recibe los datos antes señalados de la base y al mismo tiempo la señal de los satélites GNSS; estos datos son procesados y con ellos se obtiene la posición diferencial del punto ocupado. (p.3)

Estos datos, generalmente son enviados en formatos RTCM, aunque el formato puede variar dependiendo de si las antenas son o no propietarias. Pudiendo ser enviados de la base al móvil por diferentes métodos: radio externa, radio interna, vía internet, red de telefonía, vía "beacon" o vía satélite. Particularmente la radio externa es un método muy utilizado por los Ingenieros Agrimensores, el cual cuenta con una antena que transmite en alta frecuencia (UHF).

En la actualidad, Uruguay cuenta con una Red de estaciones permanentes (C.O.R.S) que tienen como nombre "Red Geodésica Nacional Activa" (REGNA-ROU) que transmite dichos datos a través de internet y red de telefonía móvil.

Los datos son transmitidos a través del protocolo Network Transport RTCM Internet Protocol (NTRIP), los cuales son suministrados a través de un servidor de servicios en tiempo real, llamado “NTRIP Caster”.

De esta forma solo conectando el equipo móvil a dicho servidor a través de internet o red telefónica, se pueden recibir las correcciones de las estaciones que se desean. (Prof. Roberto Pérez Rodino, 2012)

### **5.1.2 Post Proceso Cinemático**

Este método también es conocido por su nombre en inglés Post Processed Kinematic (PPK). De acuerdo a Berné, Anquela, & Garrido (2014) y a los apuntes del curso Geodesia 3 (2021), el método consiste en que el receptor GNSS móvil (en este caso el UAV) tenga la capacidad de guardar los datos observables de los satélites y tener además, una base con coordenadas conocidas que también guarde los observables.

En caso de no contar con una base propia, se pueden utilizar las bases REGNA-ROU, las cuales publican los datos de los observables por día y por hora. Al trabajar con estas bases, se debe prestar especial atención a la distancia que se encuentra la base REGNA-ROU del lugar dónde se está realizando el relevamiento, ya que, cuanto más lejos se esté de las bases, menor será la precisión obtenida.

Luego, en gabinete, se procede a calcular las posiciones del equipo móvil mediante un software geodésico. Para realizarlo, se cargan los datos obtenidos del equipo móvil, de la base y se calculan las coordenadas. El post procesamiento puede variar dependiendo de las precisiones que se deseen obtener.

## **5.2 Fotogrametría**

La fotogrametría es la técnica con la cuál se logran obtener los elementos necesarios para llegar a un producto final. En este trabajo, esto se logra a través de imágenes obtenidas mediante UAV, es por ello que es importante tener claro este proceso y su funcionamiento. Esta metodología permite obtener datos cuantitativos, como ser distancias y por ende áreas, basado en fotografías tomadas con determinadas condiciones (Bermudez, 2016).

En el presente estudio se trabaja con fotogrametría aérea, digital, utilizada para cartografía, basada en la estereoscopia y en la orientación analítica-digital de fotografías, también llamada restitución fotogramétrica.

De acuerdo a Coelho, L., y Brito, J. (2007) y Bermudez (2016), para aplicar dicho proceso, determinar un objeto, se debe contar con dos conjuntos de datos:

- 1) Los parámetros internos del haz perspectivo. Debe conocerse el comportamiento de cada haz perspectivo en el espacio, se debe conocer la posición de cada rayo con respecto a los demás.
- 2) Los parámetros externos del haz perspectivo. Se debe conocer la posición en el espacio de cada haz.

Además, se debe cumplir que los rayos homólogos puedan ser identificados inequívocamente.

1) Para conocer los parámetros internos del haz se realiza la Orientación Interior, en la cuál se reconstruye la posición de cada rayo tal y como lo hace en la cámara para el momento de la toma. Este procedimiento está basado en la aproximación de que un punto, su imagen, y el centro perspectivo de ese punto están alineados, son colineales. Éste se lleva a cabo a través de una transformación afín, la cuál plantea no ortogonalidad en los ejes, rotación, traslación y cambio de escala diferente en cada eje, conservando colinealidad, coplanaridad y relación entre distancias en una línea.

Este concepto es un principio matemático teórico, por lo que para llevarlo a la realidad debe realizarse el estudio teórico y luego aplicar las correcciones necesarias, a través del proceso llamado refinamiento de imagen.

El refinamiento de imagen contempla las siguientes correcciones:

- a) Por refracción.
- b) Por deformaciones geométricas:
  - i) Desplazamientos debido a la distorsión.
    - Distorsión radial (depende del diseño óptico).
    - Distorsión tangencial (depende del diseño del lente).
  - ii) Desplazamientos debido a la inclinación de la cámara.
  - iii) Desplazamientos debido al relieve del terreno.

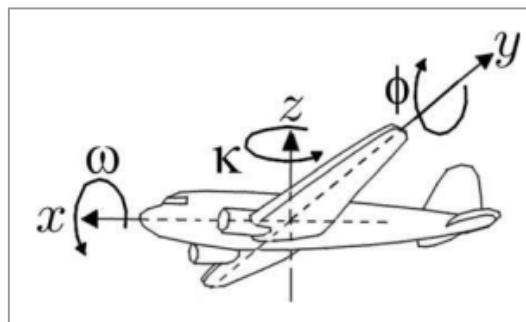
La Orientación Interior depende de las medidas de las distorsiones y de la ubicación de las marcas fiduciales, las cuales brindan un control de calidad. Las medidas

de distorsión, al utilizarse un valor medio para las correcciones, ya introducen un error. Mientras que, la ubicación de los vértices del sensor refleja una medida de la calidad del proceso, brindando un valor de RMSE que va a ser producto del cálculo de los valores de parámetros de transformación con mínimos cuadrados.

2) Los parámetros externos del haz se obtienen con el proceso de Orientación Exterior, la cuál permite ubicar cada imagen en la posición que estaba en el momento que se tomó la fotografía referido al sistema de coordenadas del espacio objeto (terreno). Esta ubicación queda determinada para cada foto a través de 6 parámetros: las coordenadas del del centro de perspectiva en coordenadas terreno ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) y los ángulos de rotación o de actitud del sensor respecto de las coordenadas del terreno ( $\Phi, \omega, K$ ).

Figura 1

*Parámetros de la Orientación Externa, sensor fotogramétrico en una plataforma aérea*



*Nota.* Tomado de *Fotogrametría Digital* (p.109), por. Coelho, L., y Brito, J., 2007, Universidad del Estado de Río de Janeiro.

Al realizarla se debe considerar que el espacio terreno es continuo y además se debe tener especial cuidado al calcular los parámetros ya que, pequeñas variaciones pueden generar resultados inconsistentes.

Para el cálculo serán necesarias las coordenadas de al menos 3 puntos en el terreno no alineados. Luego se realizan iteraciones, las cuales pueden comenzar con la aproximación de las coordenadas del centro del área de trabajo.

Cabe mencionar que, si el UAV utilizado cuenta con sistema GNSS-IMU no es necesario tener las coordenadas del centro del área de trabajo para calcular estos parámetros. Aunque podrían calcularse y utilizarse como aproximación inicial para optimizar el tiempo de cálculo.



Una vez hallados los parámetros, se pueden calcular las coordenadas (X, Y, Z) de cualquier punto del terreno, basado en sus coordenadas en las imágenes. El proceso que permite determinar los parámetros de la orientación y las coordenadas terreno se llama aerotriangulación y se realiza a través de un único paso con un ajuste por mínimos cuadrados. Mediante este procedimiento se logra una densificación de los puntos de apoyo tomados en campo. Se debe tener en cuenta que, cada imagen agregada al bloque añade seis incógnitas y cada punto fotogramétrico tres incógnitas, además cada punto agrega dos ecuaciones ya que cada punto se encuentra en al menos dos imágenes diferentes.

Debido a que el proceso es realizado por aproximaciones, es importante realizar una evaluación de la calidad. Se deben comparar las coordenadas de los puntos de apoyo tomados en campo, con las de los mismos puntos calculadas con los parámetros de orientación de las imágenes.

Llamamos puntos de apoyo a los puntos del terreno fotoidentificables, de los cuales sus coordenadas en el terreno son conocidas (existen puntos de apoyo naturales o pre-señalizados), estos puntos son utilizados para ajustar el modelo.

Consideraciones sobre los puntos de apoyo:

- Se debe tener especial cuidado con la exactitud y la ubicación.
- Se recomienda colocar puntos cuyas distancia entre ellos sea de 3 o 5 bases en el aire en sentido del vuelo y cada 2 en el sentido transversal. Teniendo una distribución uniforme.
- Deben ser claramente fotoidentificables.
- Los puntos deben estar de forma tal, que sus alrededores se encuentren en un entorno con cota y pendiente uniforme (no usar tanques, techos, torres, etc).

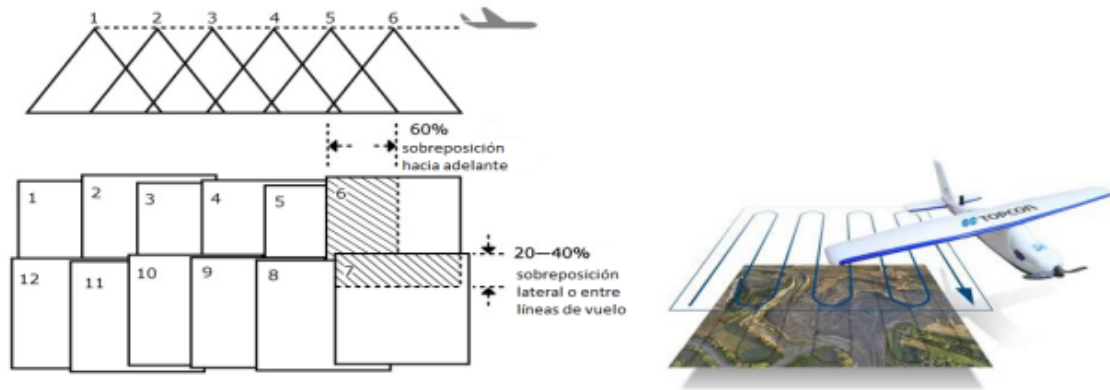
Otra condición fundamental de todo vuelo, tal como lo afirma Riaño Rodríguez, E. R. (2018):

Es la obtención de adecuada cobertura fotográfica con el mínimo de fotografías, tal que cada parte del terreno por pequeña que sea, debe ser cubierta estereoscópicamente, esto significa que toda la superficie debe aparecer en las zonas de superposición tanto de fotografías adyacentes de un recorrido como en las áreas superpuestas de recorridos vecinos. (Centro de fotogrametría, cartografía y catastro, 2005) . (p14)

Estas zonas superpuestas son las denominadas traslape o recubrimiento y se realizan tanto longitudinal como transversalmente.

Figura 2

*Traslapes longitudinales y transversales de las fotografías, plan de vuelo*



*Nota.* A la izquierda se ven los traslapes longitudinales y transversales de las fotografías, mientras que a la derecha se observa un ejemplo de plan de vuelo fotogramétrico, sobre la línea azul. Tomado de *El mundo de los drones* (p.5), por A. Velázquez.

Con la fotogrametría se obtienen ortomosaicos, imágenes con determinadas propiedades geométricas. Estas imágenes al ser la proyección ortogonal de los objetos del terreno, son fotografías sobre las cuales se pueden medir distancias y ubicar objetos.

Este proyecto se basa en los ortomosaicos obtenidos con los UAV para obtener datos de los puntos del terreno; para luego, con dichos puntos calcular distancias y áreas.

La obtención de los ortomosaicos se realiza mediante el proceso llamado ortorectificación, el cuál transforma la proyección de perspectiva central (utilizada por la cámara del UAV), a una proyección ortogonal. Esta transformación es la que corrige las deformaciones producidas por el relieve y la inclinación. Se realiza una rectificación pixel a pixel, es por eso que es importante tener bien definido el tamaño de píxel del ortomosaico.

### 5.2.1 UAV

Un UAV es un vehículo aéreo no tripulado, la sigla proviene del inglés, Unmanned Aerial Vehicle. Su funcionamiento se basa en los principios del aeromodelismo y se controlan a través de un mando a distancia, el mismo recibe información del UAV y le transmite indicaciones.

Los UAV pueden transportar sensores, RGB o multiespectrales, en la actualidad se han montado sistemas LIDAR sobre algunos, para luego generar ortomosaicos, modelos digitales de elevación, curvas de nivel, nubes de puntos y cartografía. Es por estos motivos que es muy importante que la agrimensura avance sobre estas tecnologías y con su apoyo se puedan obtener mayores rendimientos y productos.

Los UAV se pueden clasificar en tres tipos, de ala fija, de ala rotatoria y combinados:

- Ala fija

Es capaz de volar siendo más pesado que el aire, debido a poseer este tipo de alas, esto lo favorece para cubrir mayores áreas y obtener un buen rendimiento de la batería. En cuanto a su despegue, se necesita una zona amplia y libre de obstáculos, generalmente alejada de la zona a relevar. En cuanto al aterrizaje, el UAV rebota contra el suelo, hasta disminuir su velocidad.

- Ala rotatoria

Dentro de esta categoría hay una amplia variedad que se puede clasificar por la cantidad de rotores que presentan, algunos nombres son: cuadricópteros, octacópteros y sexacópteros. El rendimiento de las baterías es menor a los de ala fija debido a la cantidad de motores que presenta o la velocidad, mientras que, uno de sus fuertes es la precisión y maniobrabilidad a la hora de volar. Para este tipo de UAV, tanto su despegue como su aterrizaje se realiza de forma vertical, por lo que, no se requiere una zona demasiado amplia.

- Combinados

Estos UAV combinan las ventajas de los dos métodos anteriores. Utilizando alas rotatorias para el despegue y aterrizaje y alas fijas para el vuelo. De esta manera se optimiza el tiempo de relevamiento, y a la vez no requiere una zona muy amplia para su despegue y aterrizaje.

A la hora de volar un UAV, es importante tener en claro que, un aspecto fundamental es la comunicación entre el UAV y el mando. Esta se da a través de la atmósfera, por lo tanto se debe prestar especial atención a las condiciones climáticas, como son: humedad, temperatura, actividad solar (reflejada mediante un índice llamado KP), presión y viento. Ya que son factores que pueden afectar al vuelo y al producto final. (Remuán, M. *Manual del operador de RPAs*)

En la actualidad, a los UAV se los conoce con la palabra “dron”, la cual nace del inglés del término “drone” que significa zángano o abeja macho. Este nombre se les aplica basados en el sonido que generan algunos UAV (los de ala rotatoria), el cual es muy parecido al que producen estos insectos. En este proyecto no se va a utilizar la terminología “dron” debido a que, técnicamente este nombre no contempla a los UAV de ala fija, que no generan dicho sonido.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta una comparación de los UAV utilizados en el proyecto, en la cuál se exponen las características más relevantes a la hora de realizar un trabajo fotogramétrico, incluido su costo.

Tabla 1  
*Características de los UAV a utilizar*

|                          | <b>Mavic 2 Pro</b>   | <b>Phantom 4 RTK</b>              | <b>Wingtra Gen II</b>             |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Tipo de ala</b>       | Rotatoria            | Rotatoria                         | Fija y Rotatoria                  |
| <b>Sensor</b>            | CMOS 1"              | CMOS 1"                           | Sony RXR II                       |
| <b>Detector</b>          | $4,6 \times 10^{-4}$ | $5,2 \times 10^{-4}$              | $4,5 \times 10^{-4}$              |
| <b>Resolución</b>        | 12.35 Mp             | 20 Mp                             | 42 Mp                             |
| <b>Tipo de obturador</b> | Electrónico          | Electrónico-Mecánico              | De hoja                           |
| <b>GNSS</b>              | GPS - GLONASS        | GLONASS - BEIDOU<br>GPS - GALILEO | GLONASS - GPS<br>BEIDOU - GALILEO |
| <b>PPK</b>               | No                   | Si                                | Si                                |
| <b>RTK</b>               | No                   | Si                                | No                                |
| <b>Duración baterías</b> | 27 minutos           | 30 minutos                        | 59 minutos                        |
| <b>Precio Marzo 2022</b> | U\$S 1400 + IVA      | U\$S 7500 + IVA                   | U\$S 35000 + IVA                  |

### 5.2.2 Normativa

La normativa vigente en Uruguay, referida al uso de los UAV, es muy poca. En la actualidad se cuenta con la resolución 291/2014 de 29 de agosto del 2014, generada por la Dirección Nacional de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica ( D.I.N.A.C.I.A.) y con un decreto del Poder Ejecutivo N°260/2018 de 29 de agosto de 2018.

La resolución 291/2014 fija las reglas y clasifica los UAV en tres categorías en base a su peso: menores (menores a 25 Kg), medianos (entre 25 kg y 260 Kg) y mayores (mayores a 260 Kg). También prohíbe su uso para los siguientes puntos, salvo autorización expresa de la Autoridad Aeronáutica:

- Transporte de pasajeros.
- Operaciones internacionales.
- Vuelo en áreas prohibidas y restringidas.
- Vuelo sobre concentración de personas.
- Vuelo en zona de tráfico aéreo y aeródromos.

El vuelo tiene que ser en condiciones de visualización, es decir, 500 metros máximos desde el operador hasta el UAV y una altura máxima del UAV de 120 metros (se puede solicitar autorización a D.I.N.A.C.I.A para aumentar la altura máxima de vuelo).

Llevándolo al caso de estudio, los UAV que se van a utilizar se encuentran dentro de la categoría “menores” y la normativa tiene un artículo especial (Artículo 22), para las actividades remuneradas, que es el caso objeto del proyecto.

Artículo 22 “Trabajos aéreos” del código Aeronáutico Uruguayo debiéndose dar cumplimiento a los Decretos N° 39/977 de 31 de enero de 1977 y N°260/2018 de 29 de agosto de 2018. Por otra parte, la aeronave debe contar con un seguro de responsabilidad civil y también los operadores deben contar con el “Permiso de Operador de Dispositivo Aéreo Operado a Distancia”, emitido por la D.I.N.A.C.I.A.

El Decreto N°260/18 exige que los sensores estén registrados en el Registro de Sensores Aeroespaciales, dicho registro tiene una duración de 2 años. Además, exige que el operador también esté registrado en D.I.N.A.C.I.A. En este Decreto, se encuentran las zonas habilitadas y las no habilitadas para vuelo. (Remuán, M. *Manual del operador de RPAs*)

### 5.3 Planos de Mensura

Entre las tareas más tradicionales del Ingeniero Agrimensor se encuentra la realización de planos de mensura. Estos planos son documentos realizados por el profesional en los cuales se muestra gráficamente la ubicación, el área y deslinde de una o varias parcelas, en las cuáles se realizó previamente un relevamiento planimétrico, o planialtimétrico según corresponda, y un análisis de datos. Para llevarlo a cabo, no basta simplemente con relevar lo existente, sino que además, hay que considerar los derechos que según título pueda haber sobre cada parcela, junto con la normativa vigente que rige sobre dichas parcelas para poder así relacionar los hechos con los derechos.

En los comienzos de la agrimensura no habían exigencias ni normativas que regularan la forma o el contenido específico que debía contener el plano de mensura. Fue el 29 de noviembre de 1940 que se estableció el Decreto de Cotejo y Registro de Planos en el cual se establecen escalas, materiales, tamaños, datos, y requerimientos que debía tener cada plano de mensura. El hecho de tener que registrar los planos de mensura, brinda publicidad, autenticidad y fecha cierta al documento.

Este decreto es sustituido el 9 de Agosto de 1995 por el decreto N° 318/995, el cual da nuevas especificaciones que deben cumplir los planos de mensura, y es el que rige hasta el día de hoy. El contenido de este decreto es extenso y específico en cuanto a la confección, cotejo y registro de planos de mensura. Cuenta con 8 capítulos, los cuales definen y determinan las exigencias que se deben cumplir.

En 1996, surge la Resolución N° 24/996, Uniformización de normas de planos de mensura, copias, formatos, escalas. En la cuál, entre otros aspectos, se definen tolerancias entre los planos de mensura presentados a cotejo y su correspondiente plano de mensura antecedente. Es decir, los funcionarios encargados de cotejar los planos de mensura, deberán verificar que no se difiera más de:

- 2% en las medidas de los lados de los predios,
- 5% en las medidas de los lados que terminan en un límite natural,
- 5% en el área del predio.

Estos valores de tolerancias son de especial consideración, ya que han sido adoptados en el proyecto como el valor límite admisible de diferencia entre medidas.

## 6- Metodología Aplicada

En este capítulo se presenta la descripción del procedimiento ejecutado en el proyecto y la justificación de la elección de la metodología utilizada.

### 6.1 Elección del Área de Estudio

Para la elección de los predios a estudiar se consideran diferentes factores; que tengan áreas entre tres y seis hectáreas y que estén próximos para tomar la mayor cantidad de predios posibles en un sólo vuelo con cada UAV y para tener una manipulación de datos más operable. Asimismo, gracias a la entrevista realizada con la Dra. María Noel Morales, docente de la unidad curricular Geoestadística Aplicada, se decide no tomar predios contiguos para el análisis ya que, podría afectar la independencia de los datos.

Además, se tiene en cuenta, que los límites de los predios estén materializados artificialmente, que sean cercanos a Montevideo y que el ingreso sea permitido por los propietarios. Se analiza el relieve de la zona en estudio y se decide tomar predios sin límites naturales, ya que, esto implicaría un estudio diferente al previsto, donde otras variables entrarían en juego, lo que excede el objetivo de esta investigación.

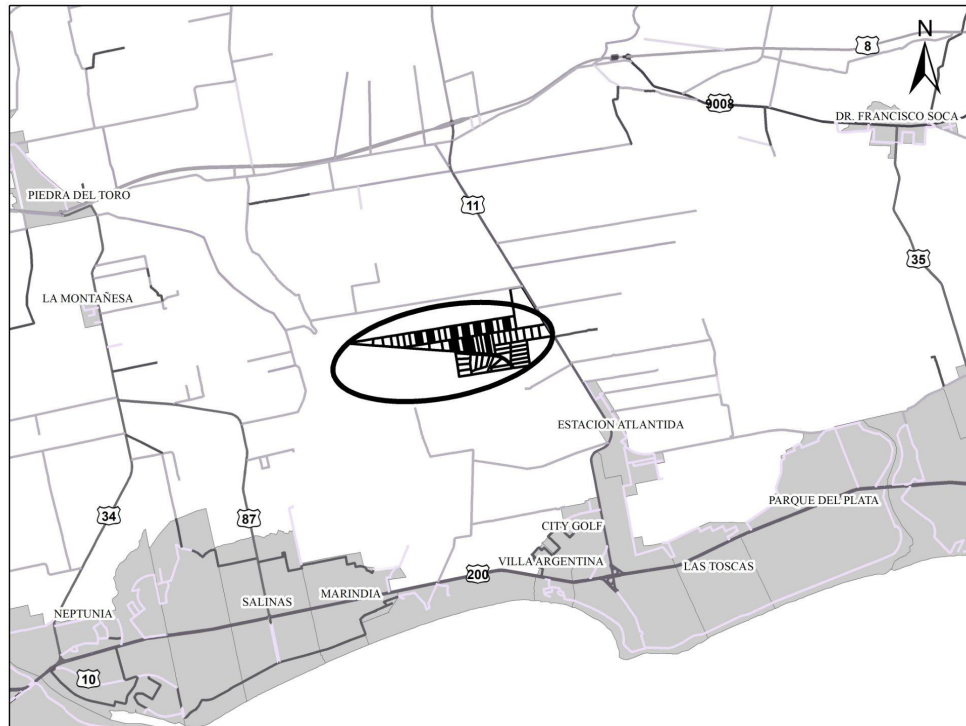
Otro factor considerado para la selección de los predios, es que no haya demasiada vegetación próxima a los límites artificiales, ya que esto podría afectar al proceso de interpretación del ortomosaico y además a la señal del equipo GNSS.

Los predios elegidos que reúnen todas las características buscadas son:  
Pad. N° 71574, 71577, 71579, 71581, 71583, 71584, 71587, 71589, 71599, 71601, 71602, 71606, ubicados en la zona rural del departamento de Canelones, próximos a la ciudad de Atlántida, ver Figura 4. Las parcelas N° 71583 y 71584 se toman como una única parcela ya que no poseen división entre ellas (no se encuentra alambrada la división), lo mismo sucede con los inmuebles identificados con los números de padrón 71601 y 71602, por lo que se estudian un total de diez parcelas. Se realiza un análisis previo de cada inmueble en los cuales se detalla la ubicación y el relieve mediante curvas de nivel, tal como se puede ver en las Figuras 5 y 6.



Figura 4

*Croquis de ubicación de los predios en estudio*



*Nota.* Se resalta la zona de ubicación de los predios en estudio. Imagen adaptada de D.N.C y Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOB).

Figura 5

*Ubicación de los predios en estudio*



*Nota.* Se resaltan los predios en estudio. Adaptado de IDEuy, 2017-2018.

Figura 6  
Curvas de nivel de los predios en estudio

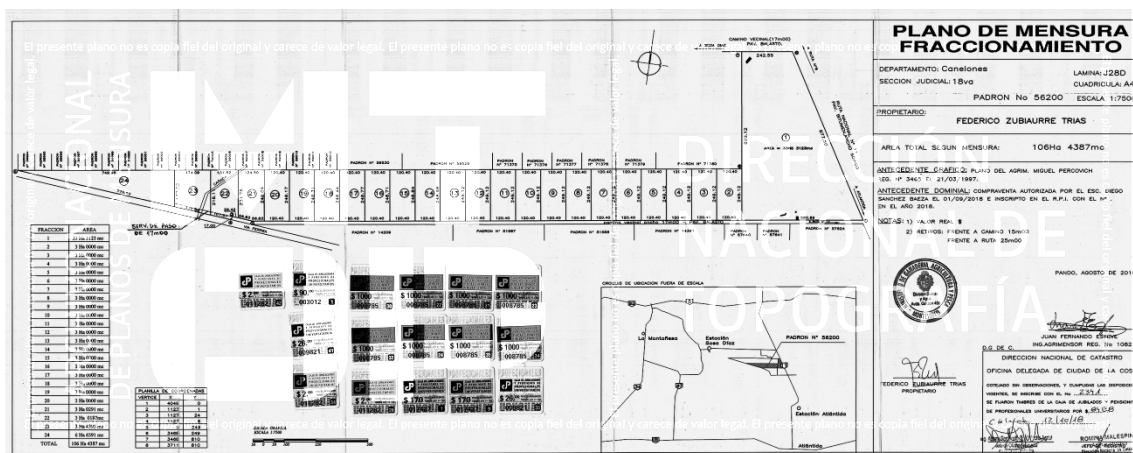


Nota. Curvas de nivel cada 2 metros del área en estudio. Adaptación de datos tomados del MDT, de la IDEuy, 2017-2018.

En este primer análisis de la zona de estudio se puede observar el relieve de los predios, así como también su vegetación. Para este trabajo se buscan parcelas no homogéneas en cuanto al relieve, obteniendo así un conjunto de datos más representativo de la realidad.

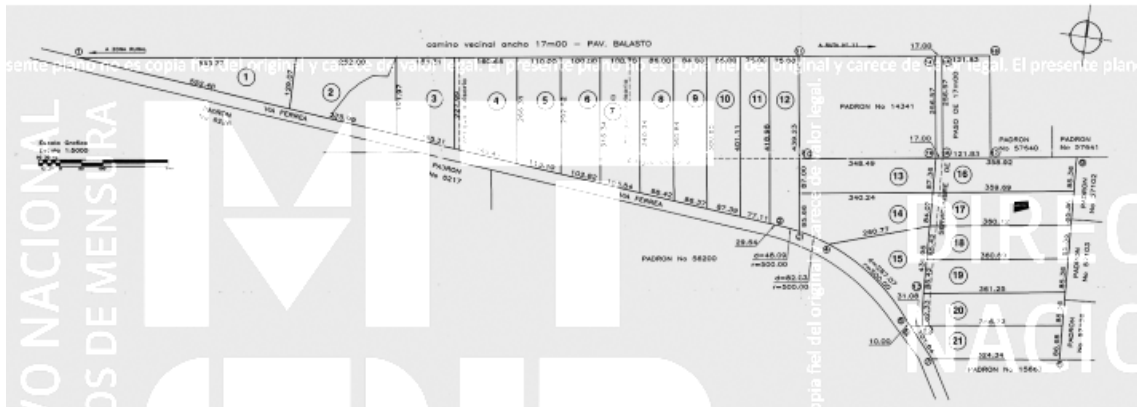
Estos inmuebles cuentan además con Planos de Mensura inscriptos el 12 de octubre de 2018 por el Ing. Agrimensor Juan Esteve, Figuras 7 y 8.

Figura 7  
Plano de mensura de padrones a relevar



Nota. Plano con número de registro 2341, del 2018. Fuente: MTOP.

Figura 8  
*Plano de mensura de padrones a relevar*



*Nota.* Plano con número de registro 2340, 2018. Fuente: MTOP.

## 6.2 Relevamiento de Campo

Como se ha mencionado anteriormente, este estudio consiste en una doble comparación entre áreas y deslindes obtenidos con un vuelo con UAV respecto a las obtenidas con GNSS (esto se realiza para cada UAV).

Se toma como base para las comparaciones, las áreas y deslindes obtenidos con equipos GNSS, ya que, este es el instrumental clásicamente utilizado por los Ingenieros Agrimensores, siendo sus errores analizados y comprobados ampliamente en los últimos años.

A su vez, con los equipos GNSS se consideró la posibilidad de trabajar con la red geodésica REGNA-ROU o con Virtual Reference Stations (VRS, la cual brinda una solución de red geodésica virtual). La primera opción se descarta ya que limita el área de trabajo a una zona cercana a una antena REGNA-ROU para obtener buenos resultados, mientras que, la segunda opción es descartada debido a que con VRS, al ser una base virtual, no se pueden dejar grabando datos para utilizar en los post procesos de los UAV, lo que hace que los datos no sean comparables.

Finalmente, se decide utilizar un equipo GNSS como base y otro como móvil para poder minimizar los errores cometidos en la mensura y poder utilizar además la misma metodología para los post procesos.



Otra decisión que se toma es que el sistema de referencia y la proyección cartográfica sean las mismas en todos los relevamientos, tanto en los realizados con equipo GNSS como en los realizados con los UAV. Para este proyecto se adopta el sistema de referencias World Geodetic System 1984 (WGS84) con la proyección Universal Transversal Mercator (UTM) 21 Sur.

### 6.2.1 Relevamiento con GNSS

Se inicia el trabajo de campo con el relevamiento planimétrico con GNSS de los diez predios de interés, con el fin de obtener el área y deslinde de cada uno, para lo cual se relevan sus vértices. Previo a la salida a campo se identifican estos puntos, basados en imágenes de Google Earth, con el fin de no tener dudas en campo de cuáles postes corresponden a vértices de los predios y cuáles pertenecen a alambrados internos.

Figura 9

*Límite de parcelas a relevar*



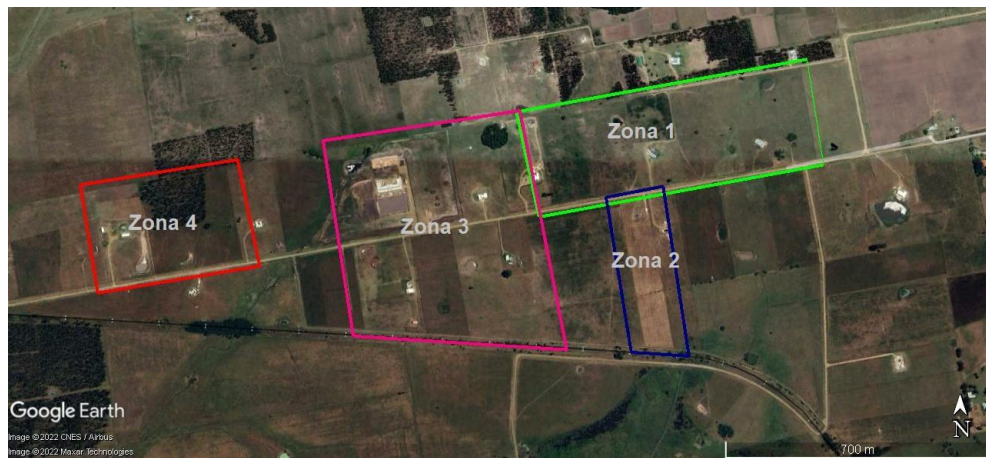
*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth.

### 6.2.2 Relevamientos con UAV

Se releva con tres UAV: Mavic 2 Pro, Phantom 4 RTK y Wingtra Gen II, al área que incluye a todos los predios en estudio. Esta área es de aproximadamente 100 hectáreas, lo que implica para los UAV de ala rotatoria (Mavic 2 Pro y Phantom 4 RTK), el uso de más de una batería para poder realizar el vuelo. Por este motivo, considerando que el cambio de baterías en vuelo puede implicar un mayor tiempo y pueden haber problemas de pérdidas de señal entre el mando y el UAV, se decide dividir el área de estudio en cuatro zonas, para intentar no hacer cambios de batería durante cada vuelo, Figura 10.

Figura 10

*División del área de vuelo en 4 zonas*



*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth.

Para esta división se busca hacerlo siguiendo formas regulares, formando polígonos de cuatro lados y con ángulos cercanos a los  $90^\circ$ . Cada zona se vuela de forma independiente con cada UAV, no superando cada una de ellas las 35 ha y pudiendo ser voladas cada una con una única batería. Esta división de zonas no se utiliza con el Wingtra Gen II, ya que al ser un UAV de ala fija tiene una mayor autonomía de batería, lo cual permite volar el área total de estudio con un solo vuelo y una sola batería, teniendo un plan de vuelo diferente, tal como se observa en la Figura 11.

Figura 11

*Área de vuelo zona Wingtra Gen II*



*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth.

Para la planificación de los vuelos con el Mavic 2 Pro se utiliza la aplicación DroneDeploy<sup>1</sup>, la cual se descarga de manera gratuita en un dispositivo móvil, para ser usado conectado al mando del UAV al momento de realizar los vuelos.

Se decide dejar una base GNSS propia grabando datos satelitales, para luego, en gabinete, realizar los PPK de los centros de fotos de los UAV Phantom 4 RTK y Wingtra Gen II. Estos datos se comienzan a guardar al comenzar el primer vuelo con UAV y se deja tomando datos hasta que se termina de realizar el último vuelo con UAV.

### **Parámetros de Vuelo**

A continuación se mencionan los parámetros de vuelo determinantes para el presente proyecto: tamaño del píxel, altura de vuelo y traslapes.

El tamaño del píxel planificado para todos los vuelos es de 3,0 cm, considerando que los objetos que se quieren apreciar en el ortomosaico, son postes de aproximadamente 15 cm de diámetro, por lo que cada poste queda definido por al menos 5 píxeles.

La altura de vuelo queda determinada en base al GSD, por lo que varía en cada vuelo que se realiza con cada UAV, corroborando siempre de no exceder la altura máxima permitida.

En base a las características que presenta la zona de estudio y a consultas realizadas a técnicos con experiencia en relevamientos con UAV, se adopta un recubrimiento de 70% frontal y 60% lateral.

### **Puntos de Apoyo**

Para cada una de las zonas se planifica la toma de cinco puntos de apoyo, los cuales son preseñalizados. Cada punto va a estar materializado con una cruz hecha con dos líneas de 1 metro de largo aproximadamente y 9 cm de ancho. Se escoge este ancho para que no sea menor a 3 píxeles, asegurando así su visualización. En cuanto al color, se busca que se genere un contraste con el medio, que en este caso es césped, por lo que se elige el color rojo.

---

<sup>1</sup>[play.google.com/store/apps/details?id=com.dronedeploy.beta&hl=es\\_UY&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dronedeploy.beta&hl=es_UY&gl=US)



Figura 12

*Ejemplo de un punto de apoyo materializado*

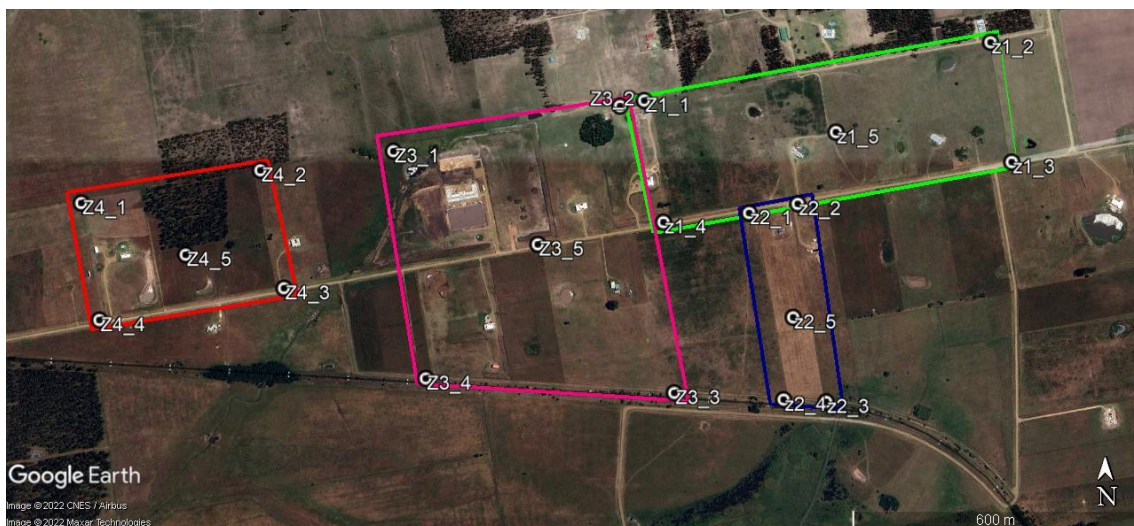


*Nota.* Imágenes tomadas en campo. A la izquierda se observa una imagen tomada a nivel terreno, mientras que, a la derecha se observa una imagen tomada con uno de los UAV utilizados.

Estos puntos se ubican: uno próximo a cada esquina y uno en el centro de cada zona de vuelo. Se considera que los puntos de los vértices queden fuera de los predios en estudio para poder interpolar los datos obtenidos; a su vez se busca que estos puntos no queden muy cercanos al límite de la zona de vuelo, para poder capturarlos con más de una línea de vuelo, ver Figura 13.

Figura 13

*Zonas: 1, 2, 3 y 4. Planificación de puntos de apoyo*



*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth.

Una vez definidos, estos puntos se eligen en GoogleEarth con marcadores, se guardan como archivo “.kmz”, se cargan en el software QGIS<sup>2</sup> calculando sus coordenadas, luego se exportan como “.csv” y se cargan en el equipo móvil GNSS.

Este procedimiento previo, no es imprescindible y se basa en imágenes que pueden no estar actualizadas, pudiendo variar la situación al llegar al lugar (ya sea variación de alambrados, de vegetación, plantaciones, construcciones o múltiples factores que pueden variar). Sin embargo, permite agilizar las tareas en campo, ya que disminuye la toma de decisiones in situ, lo cual suele conllevar dudas y posibles errores.

### **Tiempo Atmosférico**

Un factor determinante para poder llevar a cabo los vuelos, es el tiempo atmosférico. Se debe tener en cuenta que la velocidad del viento no puede superar cierto valor (este valor va depender de cada UAV), que el índice KP debe ser menor o igual a cuatro (para que las comunicaciones entre el mando y el UAV no se vean afectadas), que la visibilidad sea apropiada y que la probabilidad de precipitaciones sea nula. Existen aplicaciones y páginas web que contemplan todos estos factores y pronostican, como ser UAV Forecast<sup>3</sup> y Windguru<sup>4</sup>.

## **6.3 Procesamiento**

### **6.3.1 Tipos de Procesamientos**

Una vez culminados los estudios previos y capturados todos los datos (relevamientos con GNSS y con UAV, grabación de datos satelitales y puntos de apoyo), se prosigue con el procesamiento de cada conjunto de datos.

Si bien en campo se realizan vuelos con tres UAV, dos de ellos se procesan mediante un único procedimiento, mientras que el otro se hace con dos procedimientos diferentes, por lo que se contabiliza un total de cuatro procesamientos.

El procesamiento de los datos obtenidos con el UAV Mavic 2 Pro se realiza de dos formas: con y sin la inclusión de puntos de apoyo. Se decide procesar de estas dos maneras ya que, surge la interrogante de qué tanto influyen los puntos de apoyo en los

---

<sup>2</sup>[qgis.org/es/site/index.html](http://qgis.org/es/site/index.html)

<sup>3</sup> [uavforecast.com](http://uavforecast.com)

<sup>4</sup> [windguru.cz](http://windguru.cz)



resultados obtenidos. A su vez, se propone esta metodología en este UAV porque es el único que no cuenta con la capacidad de guardar datos de los satélites en su trayectoria, por lo que sus coordenadas son navegadas (es decir, no son absolutas).

En los demás procedimientos no se utilizan puntos de apoyo. Si bien es aconsejable contar con algún punto de testeo para realizar un control ante algún posible error, se entiende que éstos no son estrictamente necesarios y no forman parte del objeto de estudio de este trabajo.

En cuanto al Phantom 4 RTK, para trabajar con RTK, hay dos posibles bases que pueden ser utilizadas: la base más cercana de la red REGNA-ROU y la base propia del UAV. La primera opción no se utiliza porque las áreas de vuelo se encuentran muy alejadas de la base REGNA-ROU más cercana, por lo que el UAV no logra una buena conexión. Por otro lado, se decide no utilizar la base propia del UAV ya que esto implica un costo extra en el procedimiento (el costo de adquirir la base particular del Phantom 4 RTK). Por estos motivos, se descarta la utilización de RTK con este equipo.

No se debe perder de vista que el factor costos es muy importante en este estudio, es por ello que se hace hincapié en tener procesos que sean comparables entre sí. Además, se busca tomar las decisiones que tomaría un Ingeniero Agrimensor estándar, para que el trabajo logre brindar un resultado provechoso.

Finalmente, el Phantom 4 RTK se procesa, únicamente, mediante la técnica de PPK, la cuál es una herramienta muy útil, que proporciona muy buenos resultados, aumentando las posibilidades de trabajo (ya que, por ejemplo, para utilizarlo no es necesario contar con conexión a internet). Para este procedimiento se utilizan los datos crudos grabados con el UAV y los observables de la base, que pueden ser los de la base REGNA-ROU más cercana (en este caso Isla de Flores, que se encuentra a 28 kilómetros) o una base propia, en el mismo período de tiempo.

Se decide dejar una base GNSS propia grabando datos crudos, para luego, en gabinete resolver cuál de los dos observables se va utilizar. Esto no implica mayores costos ya que se espera que un Ingeniero Agrimensor que adquiere un UAV, cuente con un equipo GNSS.

Mientras que, el Wingtra Gen II se procesa con PPK, con la misma metodología utilizada el Phantom 4 RTK.

A continuación, se presenta en la Tabla 2 los diferentes tipos de procesamientos realizados para cada UAV.

Tabla 2

*Procesamiento de vuelos con UAV*

| <b>UAV</b>     | <b>Puntos Apoyo</b> | <b>PPK</b> |
|----------------|---------------------|------------|
| Mavic 2 Pro    | Si                  | -          |
| Mavic 2 Pro    | No                  | -          |
| Phantom 4 RTK  | No                  | Si         |
| Wingtra Gen II | No                  | Si         |

Para estos procesamientos se deben tener en cuenta dos grandes diferencias, primero si se van a incluir o no puntos de apoyo y segundo, si se utiliza PPK, ya que para el cálculo con PPK se debe hacer, previo al procesamiento de imágenes, el cálculo de los centros de fotos.

### 6.3.2 Cálculos de Centros de Fotos con PPK

#### **Phantom 4 RTK**

Para el cálculo de centro de fotos con PPK tomadas con el UAV Phantom 4 RTK, se utiliza el software libre Emlid Studio<sup>5</sup> el cual se descarga de forma gratuita de la web. Este programa, además del cálculo de centros de fotos, permite también asociar automáticamente cada coordenada del centro de foto con su respectiva foto, “geotagged”.

Para calcular los centros de fotos se debe cargar en Emlid Studio:

- Archivo observable RINEX obtenido de la base (propia o de la red REGNA-ROU).
- Archivo de navegación RINEX de los satélites. (El que recibe la base propia, el de la base REGNA-ROU o el descargado de la NASA en el sitio web Crustal Dynamics Data Information System [CCDIS]).
- Coordenadas de la base utilizada.
- Archivo observable RINEX obtenido del UAV.
- Archivo “.MRK” obtenido del UAV.

<sup>5</sup> docs.emlid.com/emlid-studio/#download-emlid-studio

En cuanto a la base, se decide calcular los centros de fotos con dos configuraciones:

- 1) Utilizando los observables obtenidos con la base REGNA-ROU (obteniendo sus coordenadas de la página web del Instituto Geográfico Militar IGM<sup>6</sup>).
- 2) Utilizando los observables obtenidos con la base propia (teniendo sus coordenadas relevadas con el equipo GNSS).

Respecto a estas configuraciones, también se prueba con cambiar los archivos de navegación para analizar los diferentes resultados que se obtienen.

Con estos datos cargados, el software realiza el procesamiento. Al terminar, se muestra en pantalla el gráfico de los resultados obtenidos con los centros de foto, marcando con escala de colores (rojo-autónomo, amarillo-flotante y verde-fijo) la calidad del proceso logrado de cada centro de foto y del total de las fotos. Se crea además, de forma automática en la carpeta seleccionada, un archivo “.pos” con la trayectoria del vuelo post procesado y otro con los eventos (centros de fotos con la hora y fecha de cada toma y la desviación estándar en cada punto).

Luego, para georreferenciar las imágenes del UAV se debe cargar en el software una carpeta que contenga todas las fotos obtenidas por el UAV (no debe haber nada más en esa carpeta). El programa actualiza la información de localización de cada foto, devolviendo una carpeta nueva con las imágenes georreferenciadas.

Este proceso se repite para cada una de las cuatro zonas relevadas con el Phantom 4 RTK.

## **Wingtra Gen II**

En cuanto al cálculo de centro de fotos de las imágenes obtenidas con el UAV Wingtra Gen II, es necesario utilizar el software Wingtra Hub. Este software propietario es el único que permite la interpretación de los datos obtenidos por el UAV Wingtra Gen II.

---

<sup>6</sup> [igm.gub.uy](http://igm.gub.uy)

Para calcular los centros de fotos se debe cargar en Wingtra Hub:

- Archivo observable RINEX obtenido de la base (propia o de la red REGNA-ROU).
- Archivo de navegación RINEX de los satélites. (El que recibe la base propia, el de la base REGNA-ROU o el descargado de la NASA en el sitio web Crustal Dynamics Data Information System [CCDIS]).
- Archivo de navegación RINEX con datos GLONASS (archivo “.g”).
- Coordenadas de la base utilizada.
- Archivo en formato “.ulg” obtenido del UAV.

En cuanto a la base, se decide utilizar una base propia (para poder realizar las mismas configuraciones utilizadas con el Phantom 4 RTK de archivos observables y archivos de navegación), por lo que se deja una base propia grabando datos crudos durante el vuelo. Debido a que este vuelo debió hacerse otro día y no junto con los demás vuelos, el tiempo que estuvo la base guardando datos fue 40 minutos.

Para el cálculo de las coordenadas del punto en que se estaciona la base propia, se intenta relevar con GNSS mediante RTK, sin embargo, el equipo no logra conectarse con el protocolo NTRIP. Se decide entonces, utilizar los datos crudos que guarda la base propia, para hacer en gabinete el post procesamiento de ese punto.

En gabinete, se post procesan los datos para calcular las coordenadas del punto de la base, utilizando los datos crudos guardados, pero no se pueden resolver las ambigüedades, por lo que no se pudieron obtener las coordenadas del punto de la base. La causa por la cual no se logran obtener las coordenadas del punto mediante post procesamiento, puede deberse a diferentes motivos, ya que todo relevamiento con GNSS dependen de múltiples factores, los cuales varían constantemente (tales como la geometría de los satélites, las condiciones climáticas, entre otros).

Atendiendo a todos estos eventos que sucedieron, se decide procesar los centros de foto con los archivos observables y los archivos de navegación de la base REGNA-ROU, ya que, si bien no es el mismo procedimiento que el realizado para el cálculo de centros de foto del Phantom 4 RTK, se prioriza la importancia de sumar estos datos al trabajo.

### 6.3.3 PIX4DMapper

A continuación, luego de tener en gabinete todo lo relevado y las imágenes con los centros de fotos calculados en los casos que se requieren, se prosigue con el procesamiento de las imágenes en un software fotogramétrico. Para este estudio se va a utilizar un software propietario llamado PIX4DMapper<sup>7</sup>, el cual se usa para los cuatro procesamientos.

Cada conjunto de datos obtenidos de los cuatro procesamientos, mencionados en la Tabla 2, se procesa de manera independiente para cada zona de vuelo. Por lo que, se va a trabajar con un total de 13 proyectos, ver Tabla 3.

Tabla 3

*Proyectos en Pix4D Mapper*

| <b>UAV</b>            | <b>Proceso</b>      | <b>Zona</b> |
|-----------------------|---------------------|-------------|
| <b>Mavic 2 Pro</b>    | Con puntos de apoyo | 1           |
|                       |                     | 2           |
|                       |                     | 3           |
|                       |                     | 4           |
|                       | Sin puntos de apoyo | 1           |
|                       |                     | 2           |
|                       |                     | 3           |
|                       |                     | 4           |
| <b>Phantom 4 RTK</b>  | PPK                 | 1           |
|                       |                     | 2           |
|                       |                     | 3           |
|                       |                     | 4           |
| <b>Wingtra Gen II</b> | PPK                 | W           |

<sup>7</sup> <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dmapper-fotogrametria-software>

En cada nuevo proyecto, se cargan en el Pix4DMapper las imágenes obtenidas con el UAV correspondiente. El software reconoce automáticamente el tipo de cámara con el cuál fueron tomadas las imágenes, así como también, el sistema de coordenadas utilizado (en caso de que el software no reconozca la cámara, se deben conocer sus parámetros y cargarlos manualmente al sistema).

A continuación, se escoge el sistema de coordenadas de salida, el cual en este caso es el mismo que el utilizado en la toma de imágenes, WGS84 y la proyección cartográfica de salida, UTM 21 Sur. Luego se elige la opción con la cuál se va a procesar, en este caso se busca obtener ortomosaicos, por lo que, se escoge la opción “3D Maps” la cuál genera Ortomosaicos y Modelos Digitales de Elevación (MDE).

Esta opción de procesamiento se realiza mediante tres pasos, los cuales pueden realizarse conjuntamente o por separado. Para un mejor control del procesamiento se realizan los tres pasos de forma individual, pudiendo así verificar el reporte de calidad obtenido en cada paso, antes de proseguir con el siguiente.

Los tres pasos que realiza el programa son los siguientes:

1) Procesamiento inicial.

En esta etapa el software busca de forma automática puntos homólogos entre las imágenes.

Una vez culminado, se genera un reporte de calidad en el cual se verifica que todos los ítems del “Control de calidad” se encuentren dentro de valores aceptables (reconocidos por el software en color verde). Se verifica también que el traslape sea mayor a cinco en la zona de interés, es decir que haya superposición de al menos cinco imágenes por pixel y que la cantidad de puntos homólogos sea “suficiente” (esto se muestra en una escala de tonos de grises, por lo que hay que verificar que el gráfico contenga mayoritariamente colores negros) esto asegura que el software genere resultados de calidad.

En caso de que el reporte de calidad muestre un error en la optimización de la cámara, se debe revisar primero, que los datos ingresados al software sean los correctos. Si los datos ingresados no son los causantes del error, se debe cambiar la configuración del paso 1, en “opciones avanzadas”, “calibración de la cámara”, “optimización de parámetros internos”, seleccionando la opción “all prior”, que obliga a los parámetros internos a estar cerca de los valores iniciales.

## 2) Nube de puntos y malla de triángulos 3D.

En este paso se densifica la nube de puntos y se genera un modelo de textura, permitiendo la posibilidad de elegir también la opción de que el programa clasifique de forma autónoma los puntos de la nube. En el caso de este estudio, no se va a generar el modelo de textura ni la clasificación de la nube de puntos, ya que, no son relevantes para el análisis buscado.

Una vez culminado este paso, el software devuelve un reporte de calidad que contiene la información del paso uno y del paso dos.

## 3) Modelo digital de superficie (MDS), Ortomosaico e Índice.

En este punto el programa genera los productos finales: Ortomosaico Ortorectificado, MDS y Curvas de Nivel. Para este trabajo se va a utilizar solamente el Ortomosaico ya que, es el producto seleccionado para llevar a cabo la investigación.

El programa crea un reporte de calidad en el cuál muestra los datos de los pasos anteriores y además las configuraciones utilizadas para la generación del ortomosaico así como los tiempos de ejecución.

Estos tres pasos, representan el procedimiento genérico a seguir para los cuatro tipos de procesamientos que se realizan, sin embargo se deben realizar ciertos pasos adicionales para los vuelos en que se utilizan PPK y puntos de apoyo.

Para los casos en los cuales se utiliza el procesamiento con PPK, es decir cuando es necesario calcular los centros de fotos, se debe tener en cuenta que las imágenes que se deben cargar al Pix4D son las georreferenciadas obtenidas en el Emlid Studio o en el Wingtra Hub (dependiendo del UAV que se esté procesando).

Mientras que, en el caso de los procesamientos con puntos de apoyo, éstos deben ser cargados entre el paso 1 y el paso 2, por lo que, el informe generado en el paso 1 va a marcar la no existencia de puntos de apoyo. Luego de colocar los puntos de apoyo se debe optimizar el proyecto y correr el paso 2. En el reporte del paso 2 la información sobre los puntos de apoyo va a estar actualizada por lo que se puede verificar la exactitud posicional en el ítem "Puntos de Control".

#### **6.3.4 Obtención de Área y Deslinde**

Con el equipo GNSS, se obtienen las coordenadas de los puntos de los límites de las parcelas.

Mientras que, para poder obtener los puntos de los límites de las parcelas relevadas con UAV, se debe cargar cada ortomosaico en un software GIS. En este caso se utiliza QGIS, que es un software libre, y se genera una capa de puntos. Estos puntos son fotointerpretados en los ortomosaicos, siendo los postes de los límites de los predios (al momento de fotoidentificar los postes, se seleccionan los mismos postes que se relevaron con GNSS). Luego el software calcula las coordenadas de cada punto.

Este proceso de crear puntos mediante la fotointerpretación de postes en los ortomosaicos, tiene un componente subjetivo, ya que depende de la experiencia del operador trabajando con este tipo de procesos. Por este motivo, se decide que un operador realice dos de los procesamientos y otro operador realice los otros dos procesamientos, de manera independiente. Una vez culminada la creación de todos los puntos, se corrobora con ambos operadores que no se hayan cometido equivocaciones en los puntos, esto es, se verifica que los puntos estén en los vértices y no estén, por ejemplo, sobre una columna cercana.

Una vez calculadas las coordenadas de todos los relevamientos, tanto con GNSS como con los UAV, se cargan en un software CAD en el cual se dibujan los predios, para calcular sus respectivas áreas y deslindes.

#### **6.3.5 Comparaciones**

Una vez que se cuenta con los valores de todos los deslindes y áreas de cada predio, se procede a realizar la comparación entre las distancias relevadas con GNSS, con los valores obtenidos en cada UAV (y sus diferentes procesamientos). A su vez, de la misma manera se comparan las áreas de cada predio.

Para llevar a cabo estas comparaciones, se genera una nomenclatura estándar. Cada predio es denominado con un número del uno al diez, tal como se indica en la Figura 14, a su vez, dado que todos los predios presentan una geometría y orientación similar, se crea una denominación para los lados, Figura 15.



Figura 14

*Nomenclatura de los predios*

*Nota.* Imagen adaptada de Google Earth.

Figura 15

*Nomenclatura de los lados de los predios*

*Nota.* Ejemplo predio 1. Imagen adaptada de Google Earth.

## **7- Presentación de Resultados y Análisis**

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos con los cálculos de centros de fotos realizados mediante post procesamiento y se exponen y analizan las áreas y deslindes obtenidas para cada predio.

Antes de comenzar a comparar los datos se tiene que considerar que, con la cámara del Wingtra Gen II, para poder alcanzar los resultados con los que se decidió trabajar (tres cm de GCD), se debe volar a más de 500 metros de altura. Esto en la práctica resulta inviable, ya que necesita condiciones atmosféricas muy buenas (nubosidad y viento bajos), no está permitido por la normativa nacional (salvo que se cuente con la autorización correspondiente) y además es riesgoso tanto para el UAV como para las personas que se encuentren en el área.

Teniendo estas condiciones en cuenta, se resuelve ejecutar el vuelo a una altura de 120 metros, obteniendo imágenes de 1,7 cm de píxel. Esto hace que, las imágenes obtenidas con el Wingtra Gen II presenten diferentes resoluciones a las imágenes obtenidas con los demás UAV.

Esta decisión implica un cambio en la estructura del proyecto, ya que los resultados obtenidos con el Wingtra Gen II no son comparables con los resultados obtenidos con los demás UAV.

Se procede entonces, a realizar las comparaciones de los resultados obtenidos únicamente con los UAV Mavic 2 Pro y Phantom 4 RTK. Mientras que, los resultados obtenidos con el Wingtra Gen II, se analizan de manera independiente, sin formar parte de las demás comparaciones.

### **7.1 Presentación de Resultados: Centros de Fotos**

Se comienza analizando los resultados obtenidos en los cálculos de centros de fotos, de los datos obtenidos con el Phantom 4 RTK, procesados con el Emlid Studio y utilizando el archivo observable y el archivo de navegación tomados de la base propia, obteniendo los resultados de la Tabla 4.

Tabla 4

*Porcentaje de centros de fotos fijos - Phantom 4 RTK con archivos observables y de navegación de base propia*

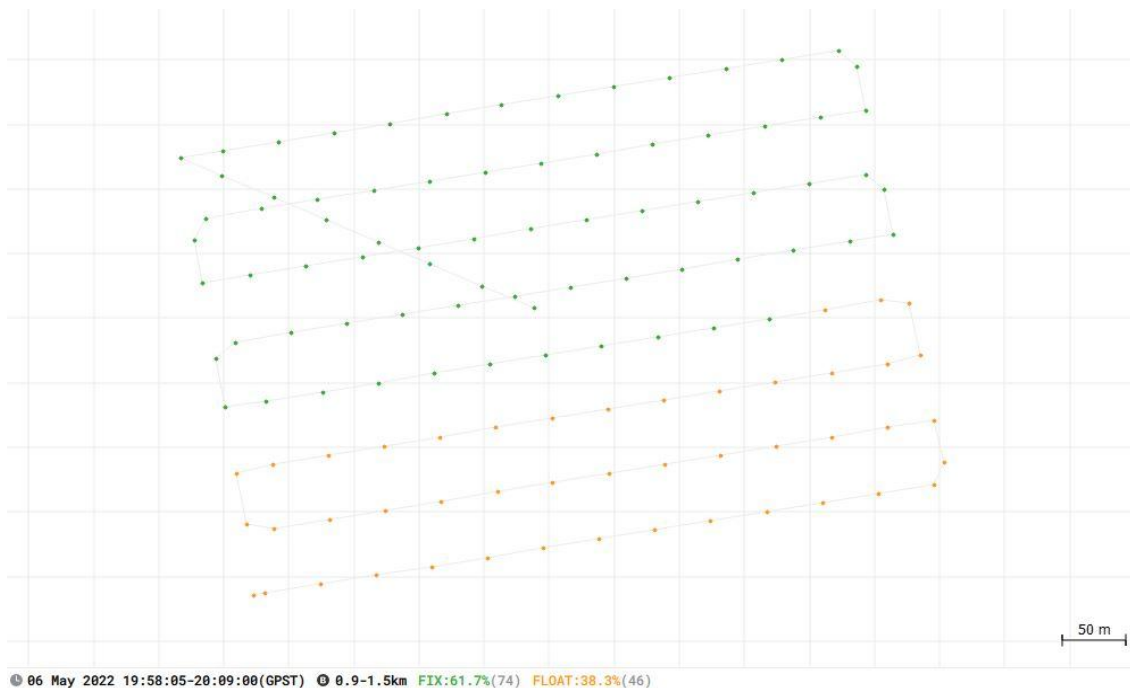
| <b>Zona de Vuelo</b> | <b>% fijo de cálculo de centro de foto</b> |
|----------------------|--------------------------------------------|
| <b>1A</b>            | 86%                                        |
| <b>1B</b>            | 100%                                       |
| <b>2</b>             | 99%                                        |
| <b>3A</b>            | 100%                                       |
| <b>3B</b>            | 100%                                       |
| <b>4</b>             | 62%                                        |

Si bien se planificó dividir el área de estudio en cuatro zonas para utilizar una única batería en cada una de ellas, en la práctica, a la hora de realizar los vuelos de las zonas uno y tres, estos necesitaron un cambio de baterías. Es por esto, que para el post procesamiento del cálculo de centros de fotos, la zona uno se divide en zona 1A y zona 1B, y la zona tres se divide en zona 3A y zona 3B.

Este aumento de consumo de baterías respecto al calculado en el plan de vuelo, se produce debido al viento que hay al momento del vuelo y al estado de las baterías (ya que no todas son nuevas, por lo que su rendimiento se encuentra limitado).

A modo de ejemplo, en la Figura 16 se pueden observar los resultados obtenidos del procesamiento de la zona 4 con los archivos observables y de navegación obtenidos de la base propia.

Figura 16

*Procesamiento de centros de fotos en Emlid Studio - Zona 4*

*Nota.* Se ve representada la trayectoria del UAV sobre la zona cuatro, siendo cada punto el centro de cada foto tomada. Los puntos de color verde muestran los centros de fotos que están fijos y los puntos de color naranja los centros de fotos que no están fijos.

Para los predios en los cuales los resultados fueron menores a 99% se vuelve a realizar el cálculo de centros de fotos, cargando esta vez en el software los observables obtenidos de la base propia y los archivos de navegación de la NASA.

Tabla 5

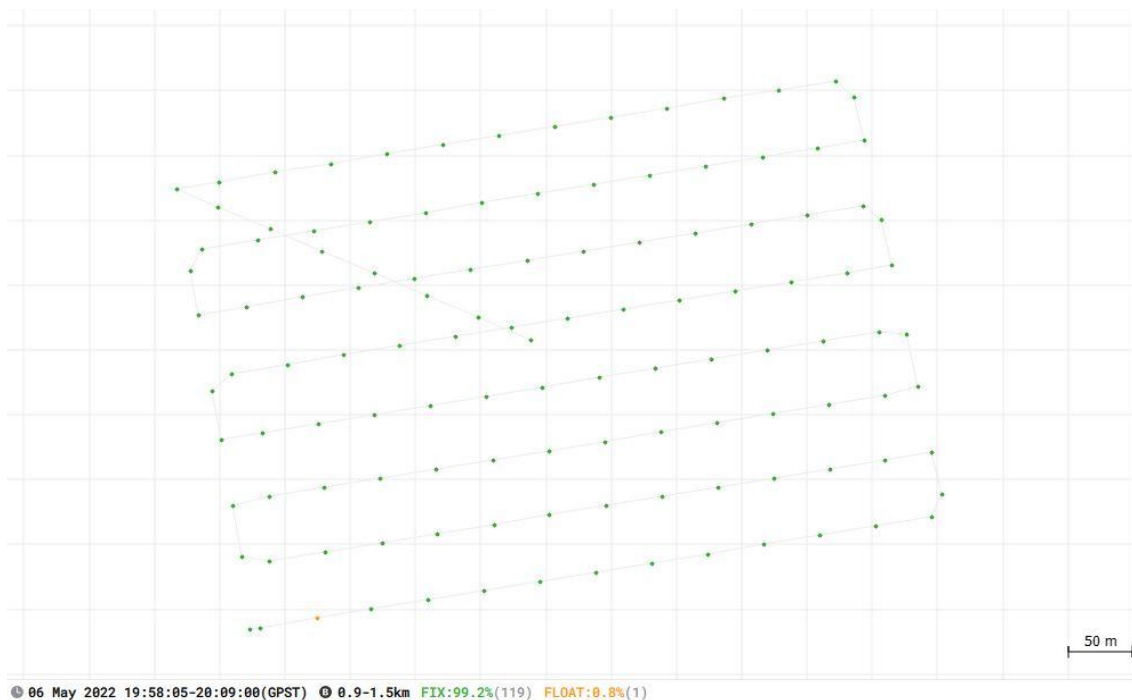
*Porcentaje de centros de fotos fijos - Phantom 4 RTK con archivos observables de la base propia y archivos de navegación de la NASA*

| Zona de Vuelo | % fijo de cálculo de centro de foto |
|---------------|-------------------------------------|
| 1A            | 87%                                 |
| 4             | 99%                                 |

En la Figura 17, se observa a manera de ejemplo, el resultado del cálculo de los centros de fotos de la zona cuatro, utilizando los archivos observables de la base propia y los archivos de navegación de la NASA.

Figura 17

*Procesamiento de centros de fotos en Emlid Studio - Zona 4*



*Nota.* Se ve representada la trayectoria del UAV sobre la zona cuatro, siendo cada punto el centro de una imagen tomada. Los puntos de color verde muestran los centros de fotos que están fijos y los puntos de color naranja los centros de fotos que no están fijos.

Analizando los resultados obtenidos al utilizar diferentes archivos de navegación, se observa que al cambiar el archivo obtenido con la base propia por el archivo obtenido de la NASA, los resultados mejoran notoriamente. Esto, en principio, no tendría por qué darse de esta manera, ya que ambos archivos de navegación contienen datos de efemérides transmitidas.

Se concluye que esto podría deberse a que los archivos de navegación de estas zonas (1A y 4), no estuvieran actualizados al momento en que la base grabó los datos, ya que esta actualización se da cada dos horas, mientras que el archivo de navegación descargado de la NASA tiene siempre todos los datos actualizados.

Por último, se vuelve a realizar el cálculo de centro de fotos, pero cargando esta vez los archivos observables y los archivos de navegación de la base REGNA-ROU de Isla de Flores.

Resulta interesante realizar este proceso, ya que las bases REGNA-ROU son muy utilizadas por los Ingenieros Agrimensores del país y al utilizarlas se podría prescindir de una base GNSS propia.

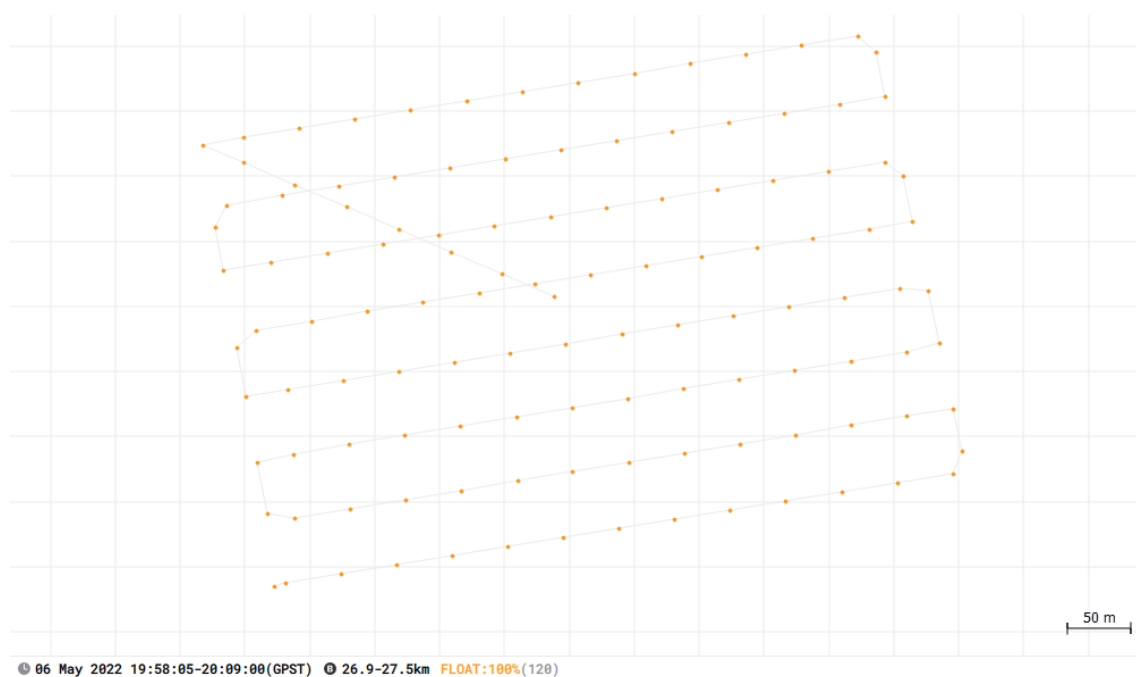
Tabla 6

*Porcentaje de centros de fotos fijos - Phantom 4 RTK con archivos observables y archivos de navegación de la base REGNA-ROU de Isla de Flores*

| Zona de Vuelo | % fijo de cálculo de centro de foto |
|---------------|-------------------------------------|
| <b>1A</b>     | 0 %                                 |
| <b>1B</b>     | 0 %                                 |
| <b>2</b>      | 0 %                                 |
| <b>3A</b>     | 48 %                                |
| <b>3B</b>     | 0 %                                 |
| <b>4</b>      | 0 %                                 |

Figura 18

*Procesamiento de centro de fotos en Emlid Studio - Zona 4*



Analizando los resultados obtenidos, se observa que ninguno de los centros de fotos logró resolver ambigüedades y obtener coordenadas de los centros de fotos fijas (a excepción de la zona 3A que tiene un 48% de los centros de fotos fijos).

Lo primero que siempre se debe tener en cuenta al trabajar con equipos GNSS es, tal como se mencionó anteriormente, que hay múltiples factores que están variando en cada momento, por lo que las condiciones van a ser diferentes para cada relevamiento.

Teniendo esto en mente, se busca de todas maneras, una explicación para este caso en particular, analizando los factores que pueden estar influyendo y pueden ser estudiados, consultando a los docentes de geodesia Ing. Roberto Pérez Rodino e Ing. Fernanda Camisay. Se analiza la base utilizada, ya que para este post procesamiento se utiliza la base de Isla de Flores, la cuál se encuentra a 28 kilómetros de la zona dónde se realizan los vuelos. Esta distancia es considerada el límite de distancia con la que se aconseja trabajar con bases GNSS (según la experiencia y las consultas realizadas), por lo que la distancia podría estar dificultando la resolución de ambigüedades del equipo.

Para seguir con el trabajo, se decide tomar el conjunto de imágenes georreferenciadas que presente mayor porcentaje de centro de fotos fijos para cada zona de estudio, Tabla 7.

Tabla 7

*Porcentaje de centros de fotos - Phantom 4 RTK con los que se va a trabajar*

| <b>Zona de Vuelo</b> | <b>% fijo de cálculo de centro de foto</b> | <b>Archivos Observables</b> | <b>Archivos de Navegación</b> |
|----------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <b>1A</b>            | 87%                                        | Base propia                 | NASA                          |
| <b>1B</b>            | 100%                                       | Base propia                 | Base propia                   |
| <b>2</b>             | 99%                                        | Base propia                 | Base propia                   |
| <b>3A</b>            | 100%                                       | Base propia                 | Base propia                   |
| <b>3B</b>            | 100%                                       | Base propia                 | Base propia                   |
| <b>4</b>             | 99%                                        | Base propia                 | NASA                          |

## 7.2 Presentación de Resultados: Áreas y Lados

Para el análisis de resultados, se van a comparar los valores obtenidos con GNSS (los cuales son considerados como referencia) y lo relevado con cada UAV.

Se considera la diferencia entre los valores obtenidos con GNSS y los obtenidos con UAV, ya que está en términos porcentuales, directamente relacionada con la diferencia admitida por la Dirección Nacional de Catastro, tanto para áreas como para lados.

En una primera instancia, estas diferencias permiten verificar si los resultados obtenidos con cada procesamiento genera una sub-estimativa (o sobre-estimativa) sistemática en todos los predios, lo cual no sería un resultado deseado. Por ejemplo, si para un determinado procesamiento, la diferencia entre el valor obtenido con GNSS y el obtenido con dicho procesamiento fuese positivo en todos los predios, implicaría que este procesamiento está subestimando de manera sistemática con respecto al GNSS.

Los resultados se presentan mediante gráficas, mostrando las diferencias obtenidas entre lo relevado con GNSS y lo relevado con cada UAV. Esto se hace para cada uno de los lados y para cada una de las áreas de cada predio y se expresa en metros y en porcentajes para tener una visión más clara e ilustrativa de los datos (todos los datos obtenidos en los relevamientos, se presentan en el Apéndice A).

Para hallar las diferencias en porcentaje, obtenidas entre el relevamiento realizado con GNSS y los realizados con cada UAV, se calcula:

$$\% \text{ Diferencia de lados} = \frac{(\text{lado}_{GNSS} - \text{lado}_{UAV})}{\text{lado}_{GNSS}} \times 100$$

$$\% \text{ Diferencia de área} = \frac{(\text{área}_{GNSS} - \text{área}_{UAV})}{\text{área}_{GNSS}} \times 100$$

Comenzando con un análisis global, considerando el conjunto de los predios para cada UAV, se decide calcular, por un lado, el promedio de las diferencias de todos los lados de todos los predios de cada procesamiento y por otro, el promedio de las diferencias de todas las áreas de todos los predios de cada procesamiento. A su vez, se



calcula la desviación estándar de cada conjunto de diferencias para tener una idea de su dispersión.

A continuación, se muestran en las Tablas 8 y 9 los valores de diferencia promedio obtenidos y las desviaciones estándar asociadas, tanto para los lados como para las áreas expresados en porcentaje, metros y metros cuadrados respectivamente.

Tabla 8

*Resultados de diferencias promedios de lados y de áreas obtenidos en cada procesamiento, en porcentaje*

| UAV - Procesamiento              | Diferencia de lados |            | Diferencia de área |            |
|----------------------------------|---------------------|------------|--------------------|------------|
|                                  | Promedio            | Desv. est. | Promedio           | Desv. est. |
| Mavic 2 Pro- Sin puntos de apoyo | -0,13%              | 1,00%      | -0,16%             | 1,31%      |
| Mavic 2 Pro- Con puntos de apoyo | -0,02%              | 0,21%      | -0,01%             | 0,26%      |
| Phantom 4 RTK - PPK              | 0,04%               | 0,08%      | 0,06%              | 0,19%      |

Tabla 9

*Resultados de diferencias promedios de lados y de áreas obtenidos en cada procesamiento, en metros*

| UAV - Procesamiento              | Diferencia de lados |            | Diferencia de área   |                       |
|----------------------------------|---------------------|------------|----------------------|-----------------------|
|                                  | Promedio            | Desv. est. | Promedio             | Desv. est.            |
| Mavic 2 Pro- Sin puntos de apoyo | -0,34 m             | 2,14 m     | 27,50 m <sup>2</sup> | 522,99 m <sup>2</sup> |
| Mavic 2 Pro- Con puntos de apoyo | 0,02 m              | 0,31 m     | 5,58 m <sup>2</sup>  | 82,84 m <sup>2</sup>  |
| Phantom 4 RTK - PPK              | 0,08 m              | 0,15 m     | 23,80 m <sup>2</sup> | 64,75 m <sup>2</sup>  |

En las Tablas 8 y 9 los valores promedios positivos indican que se obtuvo un valor menor con el relevamiento con UAV que con el relevamiento con GNSS, mientras que los signos negativos indican que los valores obtenidos con el relevamiento con UAV son mayores a los obtenidos con el relevamiento con GNSS.

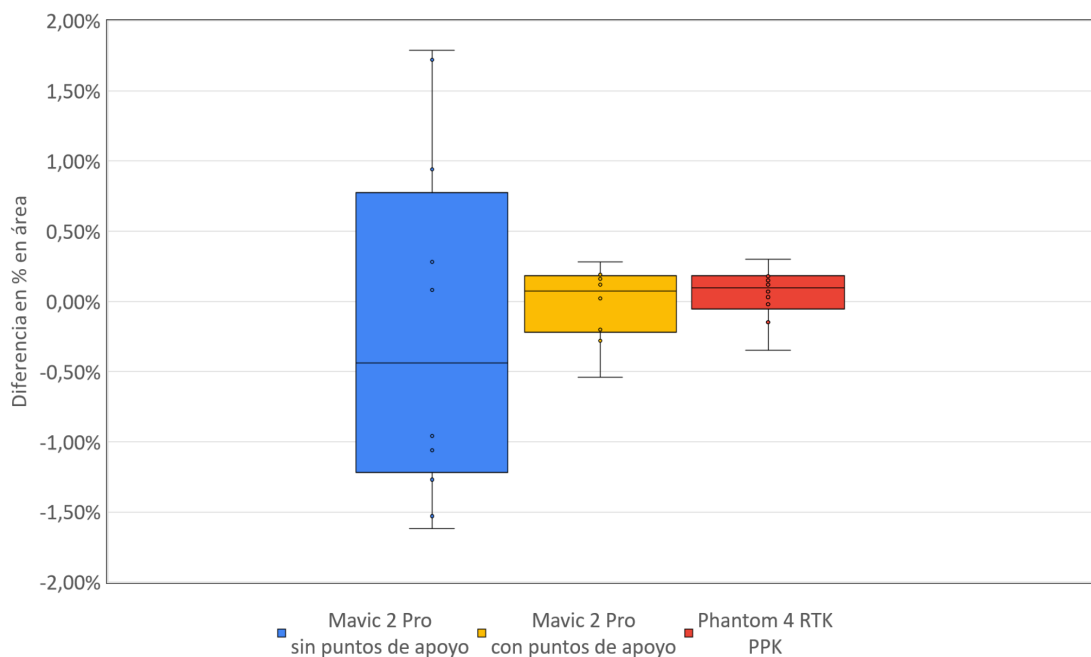
Analizando los resultados de forma global, se puede apreciar que para todos los UAV, la diferencia promedio entre los valores obtenidos con GNSS y UAV es menor al 1%, tanto para distancias (lados) como para el área de los predios.

Se advierte que el peor desempeño se da en el conjunto de datos obtenidos con el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, el cual presenta las mayores diferencias tanto en diferencias de lados como en diferencias de áreas, a su vez presenta las mayores dispersiones.

A modo complemento del análisis previo, se generan diagramas de cajas y bigotes para los resultados obtenidos de cada UAV. Estos diagramas permiten una visualización sencilla e intuitiva de los datos obtenidos en cada procesamiento, plasmando además los valores atípicos.

Figura 19

*Diagrama de caja con las diferencias de área GNSS-UAV, en porcentaje*

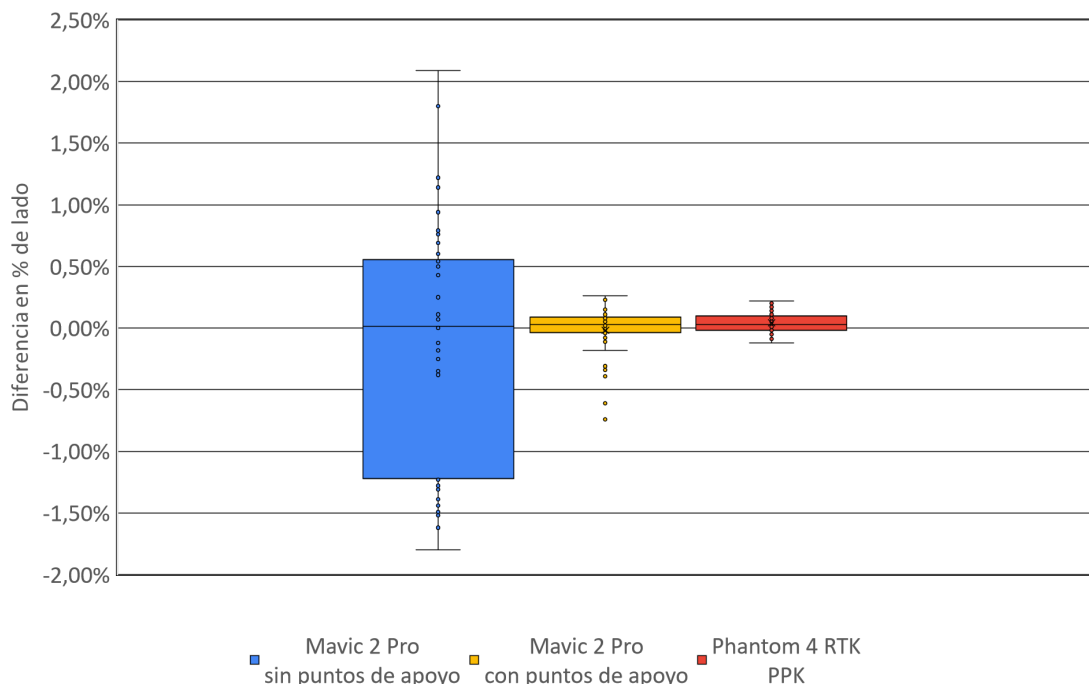


Tal como se observa en la Figura 19, ninguno de los diagramas, presenta valores atípicos en las diferencias de área, lo que muestra que no hay valores más allá de la varianza esperada de los datos, por lo que se presume que no hay equivocaciones en los puntos fotoidentificados.

Contemplando las distancias intercuartílicas de los tres procesamientos, las diferencias en área obtenidas con el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo presentan una distancia de 2%, siendo este el procesamiento que presenta mayor dispersión de datos, por lo que es el procesamiento más sensible a los valores extremos. Mientras que el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo presenta una distancia intercuartílica de 0,33% y el del Phantom 4 RTK una distancia de 0,23%.

Figura 20

*Diagrama de caja con las diferencias de lados GNSS-UAV, en porcentaje*



En la representación de los diagramas de caja de las diferencias de los lados, se puede ver que la distribución de los datos del Mavic 2 Pro con puntos de apoyo, presenta datos atípicos para la definición del diagrama de caja, es decir valores mayores a la varianza esperada. Sin embargo, estos datos a pesar de ser atípicos son valores menores al 1%, por lo que no serán descartados.

Analizando los rangos intercuartílicos, se observa que el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo tiene una distancia del 1,78%, siendo el procesamiento que presenta mayor dispersión (al igual que para las diferencias en área). Mientras que, los diagramas de cajas del Mavic 2 Pro con puntos de apoyo y el Phantom 4 RTK son muy similares, presentando el mismo rango intercuartílico de 0,12%.

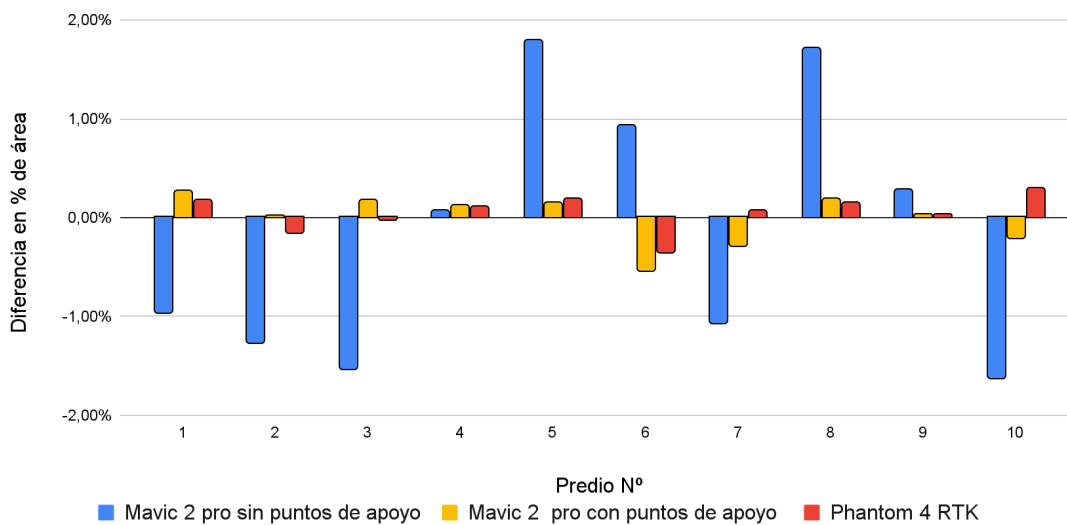
Observando los diagramas de cajas de las diferencias de todos los procesamientos, en áreas y en lados, Figuras 19 y 20 respectivamente, se observa que los diagramas de las diferencias de áreas se encuentran menos dispersos que los diagramas de las diferencias en los lados. Esto se da debido a que los valores en las áreas son mayores, por lo que las diferencias relativas son menores.

### 7.2.1 Análisis de Resultados Mediante Histogramas

Se comienza estudiando los resultados obtenidos en las áreas relevadas, representando los datos de los tres procedimientos en conjunto, mediante un histograma, Figura 21, en el cuál se pueden ver las diferencias de áreas obtenidas entre el GNSS y cada procesamiento para cada uno de los diez predios.

Figura 21

*Histograma con las diferencias de área GNSS-UAV, en porcentaje*



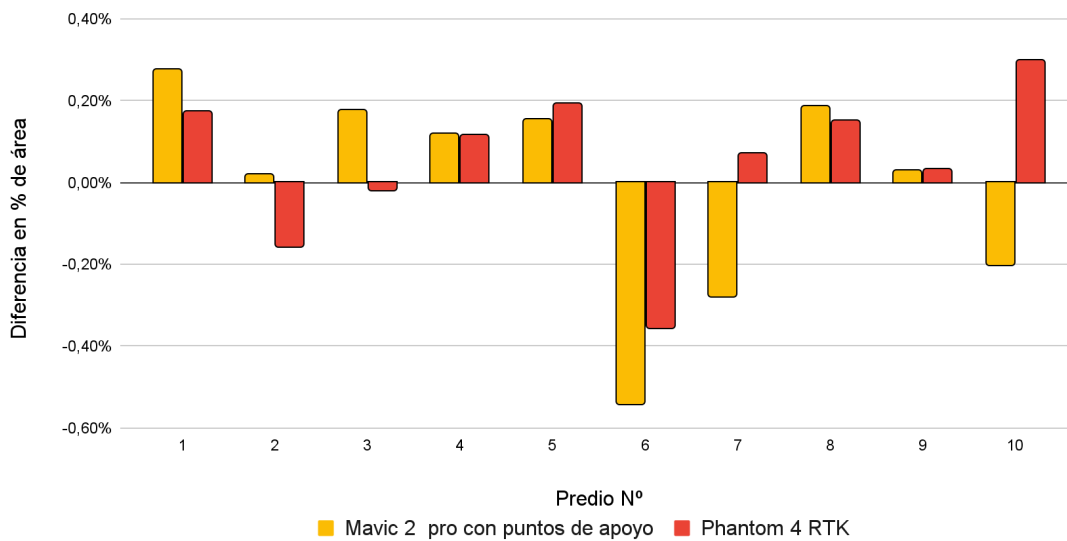
Analizando la Figura 21, se puede observar que todas las diferencias se encuentran dentro del intervalo  $\pm 2\%$  y que los tres procedimientos presentan un comportamiento esperado, ya que presentan valores por encima y por debajo a los obtenidos con el GNSS (diferencias positivas y negativas).

A su vez, las diferencias obtenidas con el UAV Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, se destacan notoriamente por ser mayores con respecto a los demás. Mientras que, el procesamiento que presenta menores valores en las diferencias, es el Phantom 4 RTK.

A continuación, en la Figura 22, se presentan mediante un nuevo histograma las diferencias de áreas obtenidas con los UAV Mavic 2 Pro con puntos de apoyo y Phantom 4 RTK. Este histograma permite tener una escala más representativa para estos procesamientos, ya que los valores obtenidos con el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo son mayores.

Figura 22

*Histograma con las diferencias de área GNSS-UAV, en porcentaje.*



En la Figura 22, se observa que los valores más elevados para ambos procesamientos ocurren en el predio 6. Si bien estas diferencias se encuentran dentro los valores esperables (son menores a  $\pm 0,60\%$ ), se decide realizar un estudio más detallado, analizando las diferencias en cada uno de sus lados, este análisis se encuentra en la sección Análisis de los valores más notorios en áreas y lados.

Se prosigue con el estudio de los resultados obtenidos en las diferencias de los lados, presentando un histograma por cada procesamiento, que permite observarlos a una escala apropiada, Figuras 23, 24 y 25.

Figura 23

*Histograma con las diferencias de lados GNSS-Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, en porcentaje*

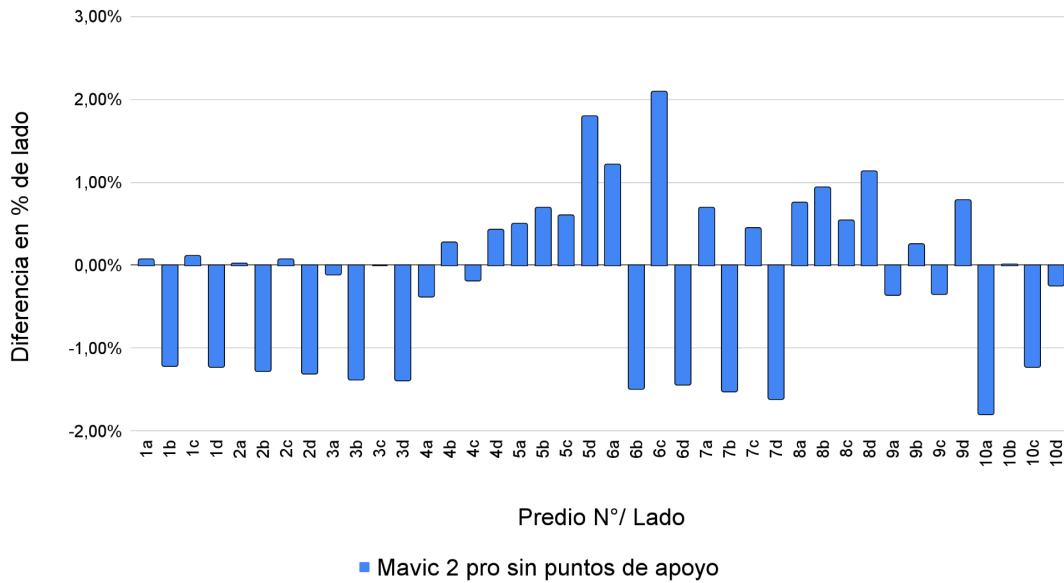


Figura 24

*Histograma con las diferencias de lados GNSS-Mavic 2 Pro con puntos de apoyo, en porcentaje*

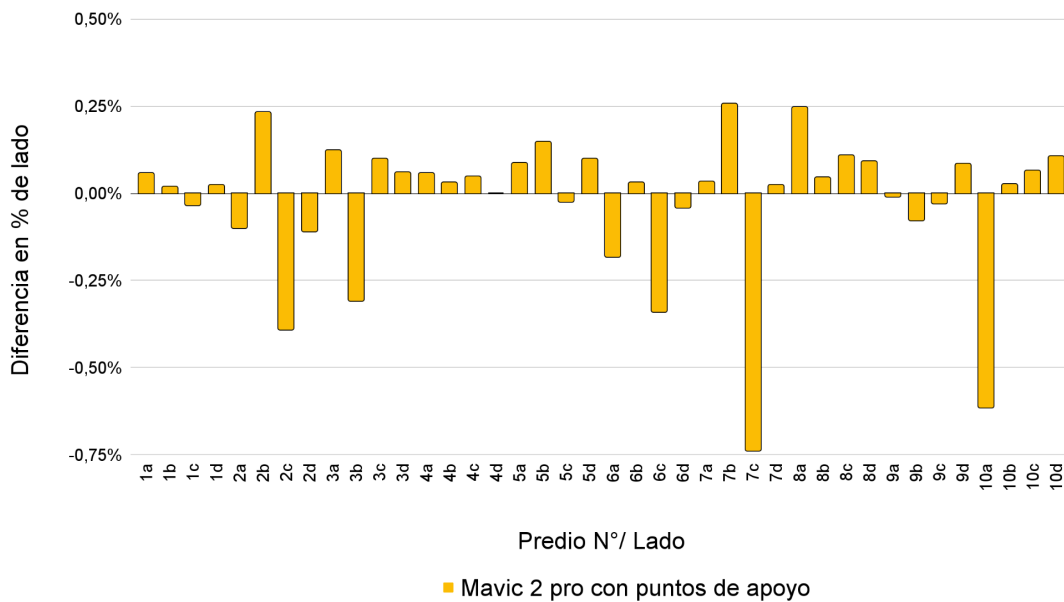
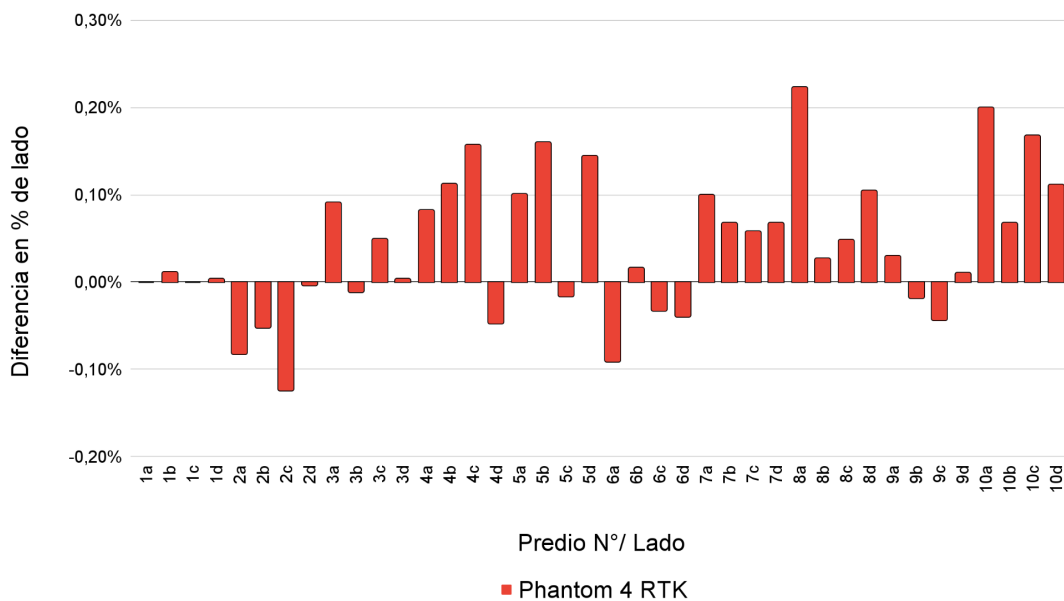


Figura 25

*Histograma con las diferencias de lados GNSS-Phantom 4 RTK, en porcentaje*



Al igual que los resultados obtenidos en las áreas, los tres procesamientos presentan un comportamiento esperado en las diferencias de lados, ya que presentan valores por encima y por debajo de los obtenidos con el GNSS. Además, el procesamiento que presenta mayores diferencias en los lados es el del Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo.

Si bien todas las diferencias obtenidas en los lados se encuentran comprendidos en un entorno de  $\pm 2,1\%$ , se estudia particularmente los tres valores mayores de cada procesamiento para descartar posibles equivocaciones y evaluar si existe algún factor externo en común que los pueda estar afectando, Tabla 10.

Tabla 10

*Tres mayores diferencias en lados, obtenidas con cada procesamiento*

| Mavic 2 Pro<br>Sin puntos de apoyo |              | Mavic 2 Pro<br>Con puntos de apoyo |              | Phantom 4 RTK<br>PPK |              |
|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| Lado                               | % dif. lados | Lado                               | % dif. lados | Lado                 | % dif. lados |
| 6c                                 | 2,09%        | 7c                                 | -0,74%       | 8a                   | 0,22%        |
| 10a                                | -1,80%       | 10a                                | -0,61%       | 10a                  | 0,20%        |
| 5d                                 | 1,80%        | 2c                                 | -0,39%       | 10c                  | 0,17%        |

Lo primero que resalta en la Tabla 10 es que el lado 10a se encuentra dentro de los lados que presentan mayores diferencias en los tres procesamientos estudiados. Por este motivo se decide realizar un análisis detallado de este predio para observar si presenta alguna característica particular, ya sea en relieve, vegetación o materialización de los lados. Este estudio se presenta en la sección Análisis de los valores más notorios en áreas y lados.

### 7.2.2 Análisis de los Valores Más Notorios en Área y Lados

En esta sección, se hace foco en analizar todos los resultados obtenidos en cada relevamiento. Se destacan los valores más llamativos y se buscan respuestas en conjunto, considerando las diferencias tanto en el área, como en las medidas de los lados.

Se comienza el estudio analizando la componente geográfica de los lados con mayores diferencias en cada procesamiento. Para ello, se identifican, en uno de los ortomosaicos creados, los lados que presentan mayores diferencias, Figura 26. Para esta visualización se escoge el ortomosaico obtenido con el Phantom 4 RTK, ya que presenta imágenes con buena resolución (aunque podría haberse utilizado cualquiera de los tres ortomosaicos creados).

Figura 26

*Lados que presentan mayores diferencias*



*Nota.* En color magenta se representa el camino. Ortomosaico obtenido del vuelo Phantom 4 RTK.

En el ortomosaico de la Figura 26, se puede observar que siete de los nueve lados que presentan mayores diferencias, se encuentran sobre el camino. Esto llama la atención, ya que, son los lados en los que se esperaba tener menores diferencias porque son los



que no presentan un relieve muy pronunciado, ni vegetación alta y todos están materializados adecuadamente.

A su vez, examinando las imágenes en detalle, se puede observar que los lados 2c, 10a, 8a, 6c y 7c presentan columnas de aproximadamente diez metros de altura cercanas a al menos uno de los límites de los predios. Esta diferencia de altura, de un píxel a otro puede ser un factor que favorezca a deformaciones o errores en la generación del ortomosaico.

Si bien todos los valores obtenidos se encuentran dentro de lo esperado, se analizan los predios en los cuales se obtuvieron las mayores diferencias tanto en áreas como en deslindes, estos son los predios seis y diez.

### **Predio 6**

Este predio presenta las mayores diferencias en área obtenidas con el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo y con el Phantom 4 RTK. Estudiando su vegetación, se identifica que este predio presenta una plantación de árboles de gran altura sobre el límite a y d, Figura 27. Esto podría implicar una dificultad al momento de fotoidentificar el poste de ese límite, sin embargo, analizando las diferencias en los lados, se observa que las mayores diferencias de este predio se dan en los lados b y d. Por lo cual, se descarta que el monte sea el motivo de estas diferencias.

Figura 27

*Ortomosaico del Predio 6*



*Nota. Ortomosaico obtenido con el Mavic Pro 2 con puntos de apoyo*

Además, se estudia el relieve del predio, siendo éste un relieve intermedio, ya que si bien presenta una pendiente considerable, de aproximadamente 3%, éste no es tan pronunciado, tal como se puede apreciar en la Figura 28. Por lo que no se considera, el relieve como un factor influyente en esta diferencia.

Figura 28

*Curvas de nivel del Predio 6*



*Nota.* Curvas de nivel cada 2 metros sobre el ortomosaico obtenido con Phantom 4 RTK, del predio 6.

Analizando en detalle los lados del predio 6, en las Figuras 27 y 28, se verifica que estos lados se encuentran correctamente materializados con alambrados, por lo que la interpretación de sus límites tampoco debería implicar un factor de equivocación.

### **Predio 10**

Se comienza el estudio del predio 10, en el cuál se encuentra el lado 10a, que es el lado que presenta mayores diferencias en los tres procesamientos estudiados. Se observa su relieve a través de curvas de nivel cada 2 metros, Figura 29.

Figura 29

*Ortomosaico del Predio 10*

*Nota.* Curvas de nivel cada 2 metros sobre ortomosaico obtenido con el Phantom 4 RTK, del predio 10.

A priori el predio 10 se destaca por tener el relieve más escarpado, sin embargo, particularmente, el lado de 10a se encuentra sobre un área que no presenta grandes pendientes, por lo que el relieve no tendría por qué ser un factor que afecte a las diferencias de los lados.

A su vez, este predio presenta una vegetación baja y amigable para la fotointerpretación, ya que no hay árboles que puedan interferir al momento de la creación del ortomosaico ni al identificar los postes en los ortomosaicos.

Analizando en detalle el lado 10a, en la Figura 30, se verifica que se encuentra correctamente materializado con un alambrado, por lo que la interpretación de sus límites no debería implicar un factor de equivocación.

Figura 30

*Detalle del lado 10a*

*Nota.* Imagen tomada del ortomosaico obtenido con el Phantom 4 RTK.

Se concluye que tanto para el predio 6 como para el predio 10, no se puede evidenciar que haya un hecho que implique que estas diferencias sean mayores. Ya que se descartan todos los factores que pueden ser demostrados como posibles causas de equivocaciones (relieve, vegetación, delimitación de los predios). Por lo que se considera que todas las diferencias obtenidas, tanto en las áreas como en los lados, son valores aleatorios que no se dan debido a ningún factor en particular.

Cabe destacar también, que todos los valores obtenidos en todos los procesamientos realizados para todos los UAV, se encuentran dentro de las tolerancias exigidas por la Dirección Nacional de Catastro para realizar un Plano de Mensura rural, 2% en las diferencias de los lados y 5% en las áreas.

### **7.3 Presentación de Resultados y Análisis de Datos Obtenidos con Wingtra Gen II**

#### ***7.3.1 Presentación de Resultados: Centros de Fotos***

Se prosigue con el análisis de los datos obtenidos con el UAV Wingtra Gen II, comenzando con el cálculo de centros de fotos, realizado en software Wingtra Hub. Se cargan los archivos RINEX de la base REGNA-ROU de Montevideo (que es la segunda base REGNA-ROU más cercana al área de estudio, a 50 km), ya que la base de Isla de Flores se encontraba fuera de funcionamiento al momento de realizar el vuelo.

Se obtiene como resultado un total 78% de los centros de fotos fijos, con precisión media de 0,10 metros en la horizontal y 0,17 metros en la vertical.

### 7.3.2 Presentación de Resultados: Áreas y Lados

A continuación, se realiza el procesamiento de las imágenes para obtener el ortomosaico. Etapa que supuso más trabajo y tiempo que con los demás UAV, debido a que el área de procesamiento es mayor a la trabajada con los demás UAV (ya que el área no está dividida en zonas de trabajo) y a que el tamaño de píxel es menor. De hecho, las imágenes de este vuelo debieron ser procesadas en un ordenador con más prestaciones que el utilizado para los otros vuelos procesados.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los resultados obtenidos en promedio de las diferencias de áreas y deslindes de los predios relevados con el UAV Wingtra Gen II, así como sus respectivas desviaciones estándar, en porcentajes y metros.

Tabla 11

*Resultados obtenidos con el UAV Wingtra Gen II, en porcentaje*

| UAV - Procesamiento | Diferencia de lados |            | Diferencia de área |            |
|---------------------|---------------------|------------|--------------------|------------|
|                     | Promedio            | Desv. est. | Promedio           | Desv. est. |
| Wingtra Gen II PPK  | 0,03%               | 0,10%      | 0,02%              | 0,22%      |

Tabla 12

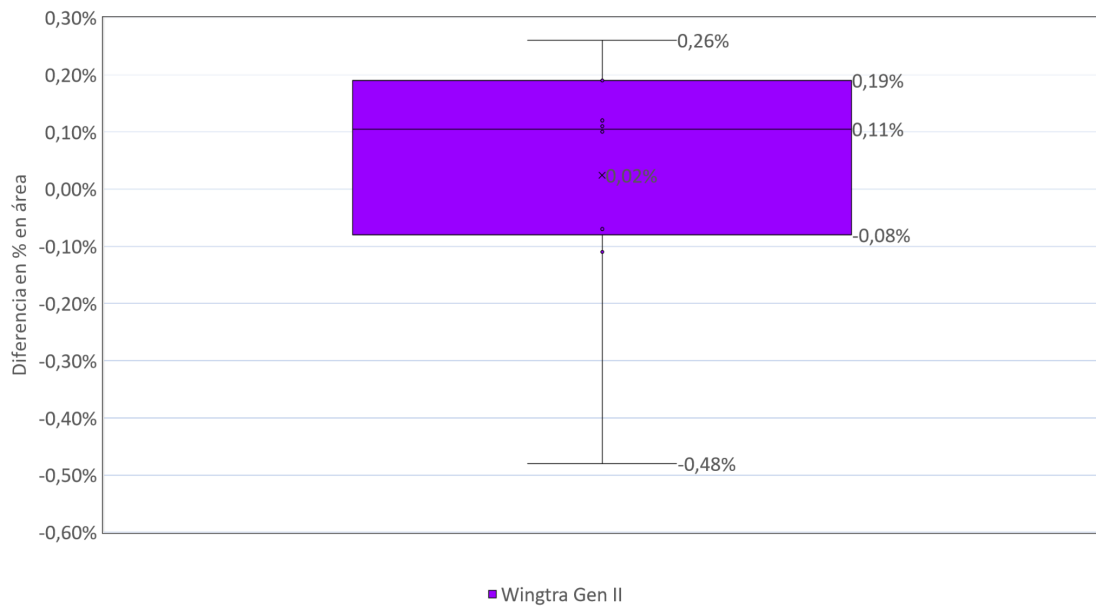
*Resultados obtenidos con el UAV Wingtra Gen II, en metros y metros cuadrados*

| UAV - Procesamiento | Diferencia de lados |            | Diferencia de área   |                      |
|---------------------|---------------------|------------|----------------------|----------------------|
|                     | Promedio            | Desv. est. | Promedio             | Desv. est.           |
| Wingtra Gen II PPK  | 0,14 m              | 0,12 m     | 15,67 m <sup>2</sup> | 71,35 m <sup>2</sup> |

Se presentan a continuación los datos mediante un diagrama de cajas y bigotes para observar desde otra perspectiva los valores de este procesamiento.

Figura 31

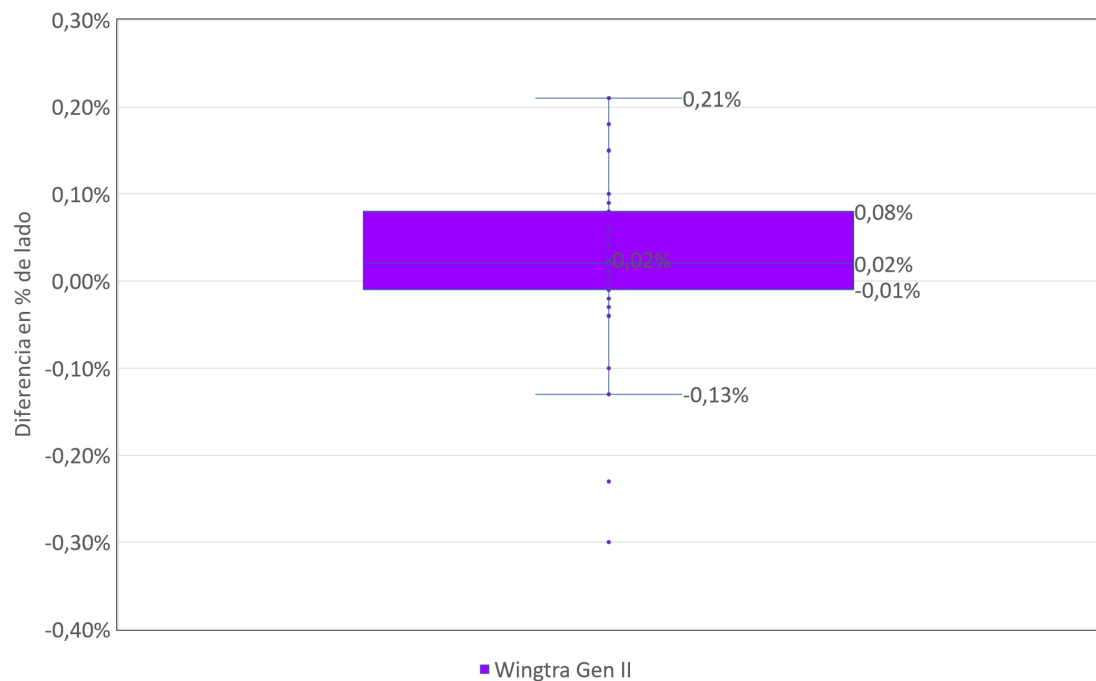
*Diagrama de caja con los resultados de área GNSS-Wingtra Gen II, en porcentaje*



En la Figura 31 se observa que las diferencias de áreas obtenidas con el Wingtra Gen II no presentan valores atípicos y de hecho, solamente dos valores se encuentran fuera del rango que representa a la mitad de la de las observaciones (con distancia intercuartílica de 0,27%). Esto muestra que los datos son poco sensibles a los valores extremos.

Figura 32

*Diagrama de caja con los resultados de lado GNSS-Wingtra Gen II, en porcentaje*



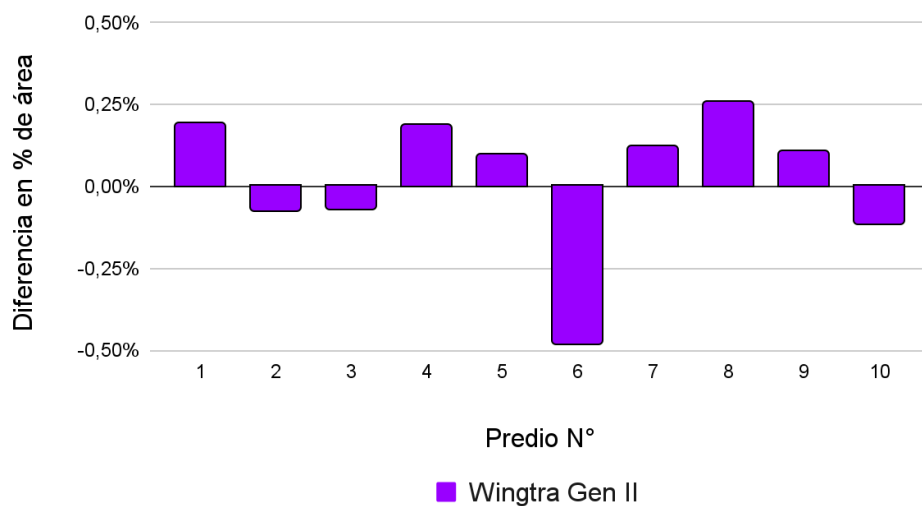
Tal como se observa en la Figura 32 el diagrama de caja presenta un rango intercuartílico de 0,09%. Si bien se puede apreciar la presencia de dos valores atípicos para este tipo de representación de los datos, estas diferencias son menores a 0,30%, por lo que no son descartadas.

### 7.3.3 Análisis de Resultados Mediante Histogramas

Se presentan a continuación, las diferencias obtenidas en áreas mediante un histograma, para poder estudiar el comportamiento de los resultados, Figura 33.

Figura 33

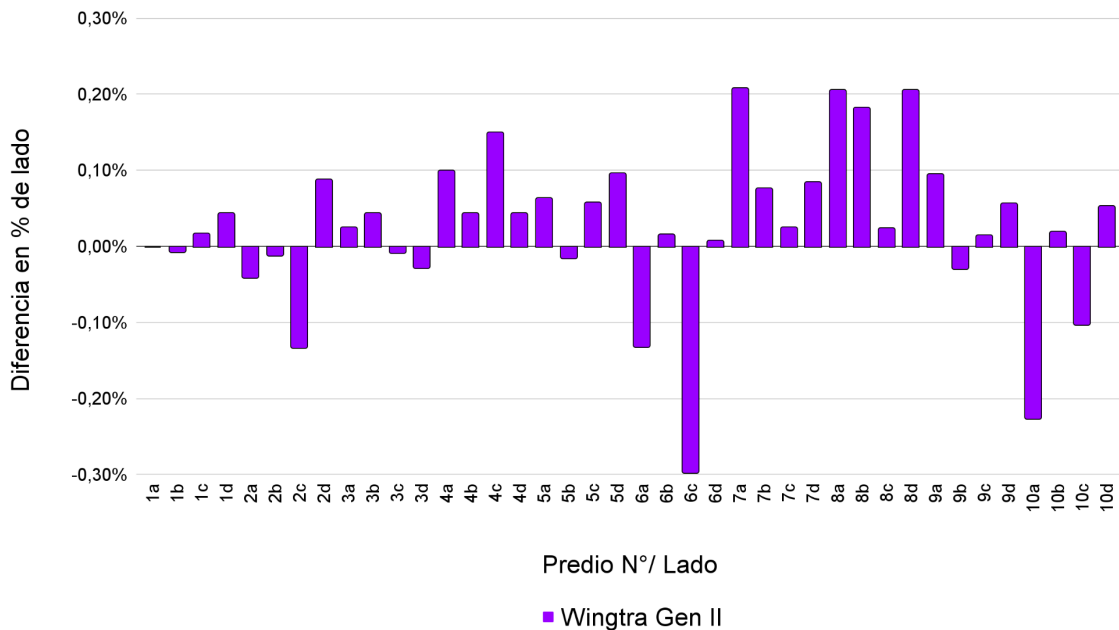
*Histograma con las diferencias de área GNSS-Wingtra Gen II, en porcentaje*



Se observa en la Figura 33 que todas las diferencias de las áreas se encuentran en un rango entre  $\pm 0,50\%$  y que el predio que presenta mayor diferencia en área respecto al relevamiento con GNSS, es el predio 6.

Figura 34

*Histograma con las diferencias de lado GNSS-Wingtra Gen II, en porcentaje*



Analizando la Figura 34 se observa que los tres lados que presentan mayores diferencias son: lado 6c, 10a y 8a. A su vez, se observa que todos los resultados se encuentran dentro del intervalo  $\pm 0,30\%$ , y su comportamiento es el esperado ya que presenta valores tanto por encima como por debajo de los valores obtenidos con el relevamiento con GNSS (diferencias positivas y negativas).

#### **7.3.4 Análisis de los Valores Más Notorios en Área y Lados**

Analizando los datos obtenidos con el Wingtra Gen II en conjunto, se destacan las diferencias obtenidas en el predio 6, ya que si bien los valores se encuentran dentro de los rangos esperables, en este predio se dan las mayores diferencias tanto en área como en deslindes.

Sin embargo, tal como se muestra en la sección Análisis de valores más notorios de áreas y lados, este predio no presenta ningún factor que pueda ser causante de equivocaciones, ni en lo que refiere a el relieve, vegetación, ni en materialización de sus límites.

De este procesamiento, se destaca que a pesar de que las condiciones en las cuales se realizó el relevamiento no fueron las óptimas, todas las diferencias obtenidas,



tanto en las áreas como en los lados se encuentran dentro de las tolerancias exigidas por la DNC.

Se considera que las condiciones óptimas para realizar el vuelo con el UAV Wingtra Gen II hubieran sido:

Contar con un equipo GNSS utilizado como base propia (grabar datos 15 minutos antes del inicio de vuelo y 15 minutos luego de finalizado), y poder obtener las coordenadas de esa base, ya sea mediante post procesamiento o mediante RTK.

Realizar el vuelo en condiciones climáticas buenas (sin lluvia, con viento de baja velocidad, KP menor o igual a cuatro, no contar con nubosidad baja ni media), ya que el vuelo se realizó un día con nubosidad baja.

#### **7.4 Matriz de comparación**

A continuación, se desarrolla una matriz de comparación en la cuál se estudia la relación costo-beneficio de cada procesamiento. En ella se evalúa no solamente los resultados numéricos obtenidos con cada UAV, sino que se contempla sus costos y tiempos.

El objetivo de esta matriz es hacer un análisis que incluya además de los resultados de las diferencias obtenidas de cada UAV, otros factores que se tienen en cuenta al momento de la elección del UAV, así como el tipo de procesamiento a utilizar para realizar un relevamiento rural. Matriz que puede servir como insumo para el Ingeniero Agrimensor, al momento de elegir qué UAV y que procedimiento es más conveniente utilizar (considerando costos y beneficios) para realizar una mensura rural.

Se presentan y se definen los factores que serán analizados e incluidos en esta matriz, describiendo qué valores se incluyen en cada uno de ellos. Luego se realiza una normalización, la cual utiliza valores del 1 al 10, asignando el N° 10 al valor más deseado y N° 1 al valor menos deseado. Este valor del 1 al 10 se asigna de manera lineal, mediante una gráfica acorde a la escala de los valores de cada factor.

Estos valores normalizados son los que se utilizan en la matriz de comparación, la cuál brinda como resultado, un valor del 1 al 10 a cada UAV (y su procesamiento). Siendo el valor más cercano al 10 el que presenta una mejor relación costo-beneficio (y viceversa).

A su vez, se utiliza la media ponderada, ya que no todas las componentes en estudio tienen la misma importancia, por lo que a cada uno de ellos se le asigna un peso diferente, de manera que la suma de los pesos de todos los factores sea 10. Este peso se asigna acorde a la contribución que tiene cada factor.

La media ponderada se define con la ecuación:

$$\bar{X} = \frac{W_1 \times x_1 + W_2 \times x_2 + \dots + W_n \times x_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_n}$$

Siendo  $W_i$  el peso asignado a cada factor en estudio, y  $x_i$  el valor normalizado para cada UAV con su procesamiento.

Cabe recordar que, tal como se menciona en la Presentación de resultados y análisis, los resultados obtenidos con el Wingtra Gen II, no son comparables con los resultados de los demás UAV. Es por esto que no se incluye en esta matriz comparativa. Se comparan los procesamientos obtenidos con el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo y el Phantom 4 RTK.

A su vez, se debe tener presente que las tolerancias adoptadas en este proyecto para las diferencias de lados son de 2%, mientras que, las de área son de 5%, basados en el criterio dado por la normativa establecida por la Dirección Nacional de Catastro.

- **7.4.1 Costos fijos**

Los costos fijos incluyen el precio del UAV utilizado y el precio de un día de alquiler de equipo GNSS (utilizado en el procesamiento que requiere relevamiento de puntos de apoyo).

Tabla 13

*Costos fijos*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Valor UAV</b> | <b>Valor de alquiler GNSS</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------|
| Mavic Pro 2 Sin puntos de apoyo | U\$S 1708        | -                             | U\$S 1708    |
| Mavic Pro 2 Con puntos de apoyo | U\$S 1708        | U\$S 50                       | U\$S 1758    |
| Phantom 4 RTK - PPK             | U\$S 9150        | -                             | U\$S 9150    |

*Nota.* Valores cotizados en marzo de 2022.

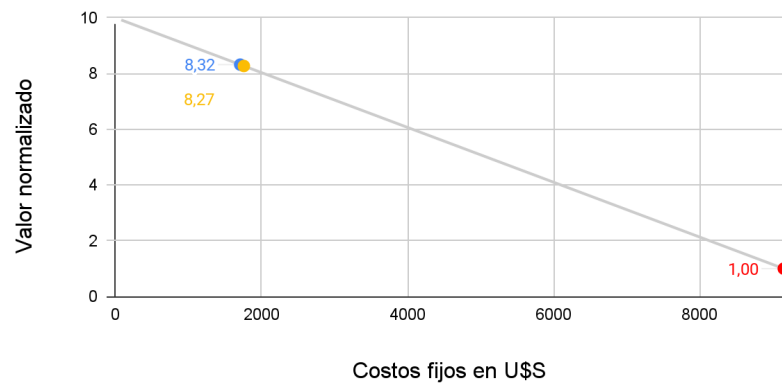
Una vez obtenidos los valores de costos fijos, se procede a realizar la normalización de estos valores. Para los costos fijos el valor más deseado es 0 U\$S y el menos deseado es el valor más alto, U\$S 9150.

Se normaliza mediante la función lineal:

$$Y = (-9,84 \times 10^{-4}) \times X + 10$$

Figura 35

Gráfico de normalización de costos fijos



En la Tabla 14 se presentan los resultados normalizados de los costos fijos de cada UAV, los cuales se utilizan en la matriz de comparación.

Tabla 14

Costos fijos normalizados

| UAV - Procesamiento             | Valor de costo fijo normalizado |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 8,32                            |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 8,27                            |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 1,00                            |

A los costos fijos se le asigna un peso de 50%, ya que la inversión económica juega un rol muy importante al momento de elegir qué UAV utilizar para realizar un relevamiento rural.

- **7.4.2 Porcentaje promedio de diferencias de lados**

Para hallar las diferencias en valor absoluto de los lados obtenidas entre el relevamiento realizado con GNSS y los relevamientos realizados con cada UAV, se calcula:

$$\% \text{ Diferencia de lados} = \left| \frac{(\text{lado}_{GNSS} - \text{lado}_{UAV})}{\text{lado}_{GNSS}} \times 100 \right|$$

Luego, se calcula el promedio de los resultados obtenidos para los lados, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en la Tabla 15.

Tabla 15

*Porcentaje promedio diferencias de lados*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>% Promedio Dif. Lados</b> |
|---------------------------------|------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 0,80%                        |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 0,13%                        |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 0,07%                        |

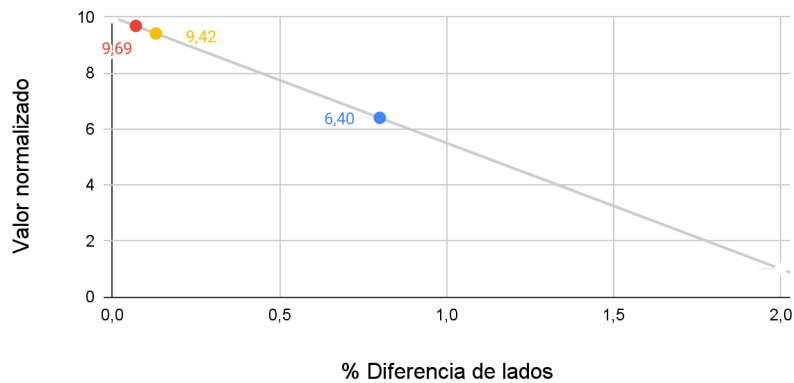
Para la normalización de estos valores, se decide asignar el valor 0 a la diferencia 0% (ya que lo más deseado, es que la diferencia sea cero), mientras que, se asigna el valor 10 a la diferencia 2% (que es la diferencia máxima en lados, adoptada en el proyecto). Se utiliza este valor máximo, ya que ninguna de las diferencias obtenidas se encuentra fuera de las tolerancias exigidas.

Para la normalizar estos valores se utiliza la función lineal:

$$Y = - 4,5 \times X + 10$$

Figura 36

*Gráfico de normalización porcentaje promedio diferencias de lados*



En la Tabla 16, se presentan los resultados normalizados de los porcentajes promedio de las diferencias de lados de cada UAV, los cuales se utilizan en la matriz de comparación.

Tabla 16

*Porcentaje promedio diferencias de lados normalizados*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Valor prom. dif. de lados normalizado</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 6,40                                         |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 9,42                                         |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 9,69                                         |

A la diferencia promedio obtenida en los lados, se le asigna un peso de 10%, dado a que todos los UAV, dan resultados menores a las tolerancias adoptadas, por lo que su variación no es tan significativa a la hora de tomar una decisión.

#### • 7.4.3 Porcentaje promedio de diferencias de áreas

Para hallar las diferencias en valor absoluto de las áreas obtenidas entre el relevamiento realizado con GNSS y los relevamientos realizados con cada UAV, se calcula:

$$\% \text{ Diferencia de área} = \left| \frac{(\text{área}_{GNSS} - \text{área}_{UAV})}{\text{área}_{GNSS}} \times 100 \right|$$

Luego, se calcula el valor promedio de los resultados obtenidos para las áreas, tal como se ve en la Tabla 17.

Tabla 17

*Porcentaje promedio diferencias de áreas*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>% Dif. Áreas Promedio</b> |
|---------------------------------|------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 1,13%                        |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 0,20%                        |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 0,16%                        |

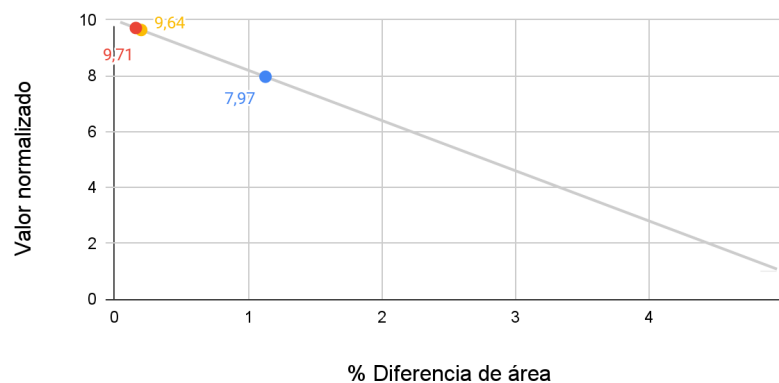
Se normalizan estos valores, siguiendo el mismo criterio que el utilizado en la diferencia de lados, asignando 0 a la diferencia 0% y 10 a la diferencia 5% (que es la diferencia máxima en área adoptada).

Se realiza la normalización mediante la función lineal:

$$Y = - 1,8 \times X + 10$$

Figura 37

*Gráfico de normalización porcentaje promedio diferencias de área*



En la Tabla 18, se presentan los resultados normalizados de las diferencias de áreas en promedio de cada UAV, los cuales se utilizan en la matriz de comparación.

Tabla 18

*Porcentaje promedio diferencias de área normalizados*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Valor prom. dif. de áreas normalizado</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 7,97                                         |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 9,64                                         |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 9,71                                         |

Dado a que todas las diferencias en las áreas son menores a las tolerancias determinadas, se aplica el mismo criterio utilizado en los lados, dándole a este factor un peso de 10%.

- **7.4.4 Costos Variables**

Los costos variables, son los costos que fluctúan en proporción a la actividad generada. Para este estudio se consideran cuatro costos variables, los cuales serán normalizados y analizados mediante una sub matriz de comparación, con los mismos criterios usados en la matriz de comparación principal.

A los costos variables se le asigna un peso de 30%, ya que estos factores son importantes pero son valores que varían, por ejemplo, de acuerdo a la experiencia del usuario o al tipo de ordenador que se utilice, por este motivo no se le asigna un valor mayor al peso asignado a los costos fijos.

Para analizar los costos variables se considera como unidad de estudio la zona 2, ya que esta zona cuenta solamente con un predio de aproximadamente  $30000 m^2$ .

### **1) Tiempo de procesamiento**

Es el tiempo que le lleva al software Pix4D en procesar los tres pasos necesarios para crear el ortomosaico, más el tiempo que se requiere para poder proveer al software de los insumos necesarios. Estos insumos son: relevamiento de puntos de apoyo, colocación de puntos de apoyo en el software y post procesamiento de los centros de fotos. Estos tiempos se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19

Costo variable: Tiempo de procesamiento

| UAV                                 | Mavic Pro 2 sin Puntos de apoyo | Mavic Pro 2 con Puntos de apoyo | Phantom 4 RTK     |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Procesamiento Pix4D                 | 22 minutos                      | 22 minutos                      | 25 minutos        |
| Relevamiento de puntos de apoyo     | -                               | 30 minutos                      | -                 |
| Colocación puntos de apoyo en Pix4D | -                               | 15 minutos                      | -                 |
| Post proceso centro de fotos        | -                               | -                               | 10 minutos        |
| <b>TOTAL</b>                        | <b>22 minutos</b>               | <b>67 minutos</b>               | <b>35 minutos</b> |

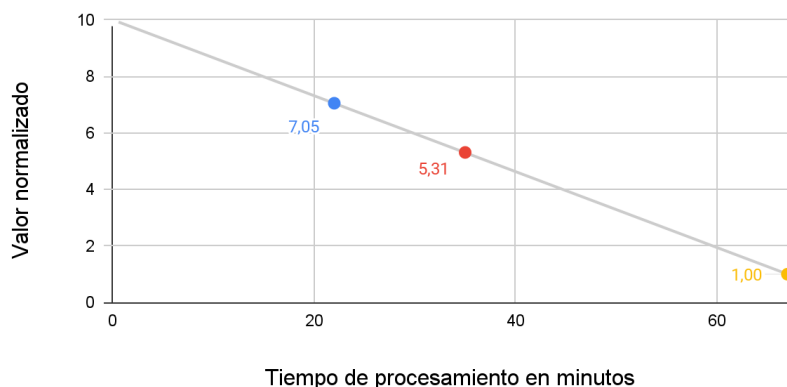
*Nota.* Todos los procesamientos se realizan con la misma computadora.

Para la normalización utilizada en la sub matriz de comparación se utiliza la función lineal:

$$y = -0,134 \times X + 10$$

Figura 38

Gráfico de normalización del costo variable: tiempo de procesamiento



En la Tabla 20 se presentan los resultados normalizados de los costos variables: tiempo de procesamiento de cada UAV, los cuales se utilizan en la sub matriz de comparación.



Tabla 20

*Costo variable: Tiempo de procesamiento normalizado*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Tiempo procesamiento normalizado</b> |
|---------------------------------|-----------------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 7,05                                    |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 1,00                                    |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 5,31                                    |

Para realizar la sub matriz de comparación de costos variables, se le asigna al tiempo de procesamiento un peso de 40%, ya que, se considera que el tiempo es un factor muy importante cuando se escoge un procesamiento y un UAV.

## 2) Tiempo de vuelo

Se considera para el tiempo de vuelo, el tiempo que transcurre desde el momento de la toma de la primera imagen hasta el momento de la toma de la última imagen, tal como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21

*Costo variable: Tiempo de vuelo*

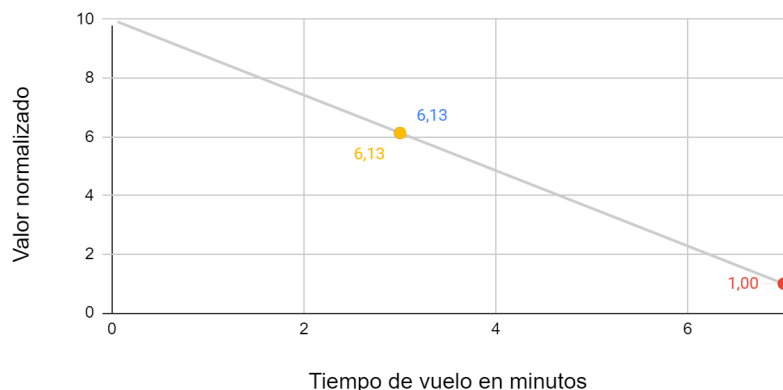
| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Tiempo de vuelo</b> |
|---------------------------------|------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 3 minutos              |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 3 minutos              |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 7 minutos              |

Estos valores se normalizan mediante la función lineal:

$$y = -1,29 \times X + 10$$

Figura 39

*Gráfico de normalización del costo variable: tiempo de vuelo*



En la Tabla 22, se presentan los resultados normalizados de los costos variables: tiempo de vuelo, de cada UAV, los cuales se utilizan en la sub matriz de comparación.

Tabla 22

*Costo variable: Tiempo de vuelo normalizado*

| UAV - Procesamiento             | Tiempo de vuelo normalizado |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 6,13                        |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 6,13                        |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 1,00                        |

En cuanto a la asignación de peso para la sub matriz de comparación, el tiempo de vuelo en campo, se considera de igual importancia al tiempo de procesamiento en gabinete, de hecho son las dos componentes principales de los costos variables, por lo que se le asigna un peso de 40%.

### 3) Reposición

Se considera a la reposición como el costo de mantenimiento del equipo y valores de repuestos.

Analizando el mercado, en las páginas web de ventas y consultando a los representantes de los equipos UAV en el país, los valores de los repuestos que suelen ser cambiados en los UAV, se puede inferir que los precios de los repuestos del Mavic 2 Pro y del Phantom 4 RTK son similares. La diferencia más notoria es el valor del receptor GNSS, ya que el del Phantom 4 RTK tiene un costo más elevado.

Basado en esta información, se define que el costo de reposición del Phantom 4 RTK es el doble del costo de reposición del Mavic 2 Pro, ya que si bien los valores de los repuestos son similares, el Phantom 4 RTK cuenta con un receptor GNSS de valor alto.

No se utiliza el valor 10 para ninguno de los UAV, ya que el valor de reposición más deseado sería \$0 (que no hubieran piezas que se deban reponer).

Tabla 23

*Costo variable: Reposición*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Costo de reposición normalizado</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------|
| Mavic 2 Pro Sin puntos de apoyo | 8,00                                   |
| Mavic 2 Pro Con puntos de apoyo | 8,00                                   |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 4,00                                   |

Al costo de reposición se le asigna un peso de 10%, ya que si bien es algo que no hay que perder de vista, no es lo más relevante cuando se escoge qué UAV utilizar para realizar una mensura rural.

#### **4) Amigabilidad**

Tal como se define en Cualidades de Software (2002):

Un sistema de software es amigable si un usuario humano lo encuentra fácil de utilizar. Esta definición refleja la naturaleza subjetiva de la amigabilidad: una aplicación utilizada por usuarios no experimentados califica como amigable por varias propiedades distintas a las de una aplicación utilizada por programadores expertos. (p.2)

Para evaluar la amigabilidad de los UAV en este estudio se va a considerar: la facilidad de interactuar con el software, la facilidad de manejar los controles, la calidad de señal de los controles, la cantidad de alertas que presenta, la facilidad de calibración y la forma de cargar y descargar datos.

Se entiende que ambos UAV presentan softwares que son amigables con el usuario, ya que ambos pudieron ser utilizados fácilmente sin capacitaciones previas. Sin embargo, el software utilizado por el Phantom 4 RTK manifestó más alertas a la hora de

ejecutar los vuelos (calibración de brújula y pérdida de señal, incluso cuando el equipo se encontraba a la vista y a menos de 300m de distancia del mando).

Teniendo todas estas características en cuenta, se resuelve que el Phantom 4 RTK posee menos amigabilidad que el Mavic 2 Pro.

Tabla 24

*Costo variable: Amigabilidad*

| <b>UAV - Procesamiento</b>      | <b>Costo de amigabilidad normalizado</b> |
|---------------------------------|------------------------------------------|
| Mavic 2 pro Sin puntos de apoyo | 9,00                                     |
| Mavic 2 pro Con puntos de apoyo | 9,00                                     |
| Phantom 4 RTK - PPK             | 7,00                                     |

Al costo de amigabilidad se le asigna un 10% de peso debido a que, se considera que este tipo de costo con la práctica no va a ser muy elevado para el usuario. Además, si bien la amigabilidad brinda comodidad e impulsa al usuario a trabajar con el software que le resulta más intuitivo, aprender a usar cualquiera de estos softwares y equipos no debería conllevar demasiadas complicaciones.

### **Sub matriz de comparación: Costos fijos**

Tabla 25

*Sub matriz de comparación de los costos fijos*

| Costos Variables - 30000 m <sup>2</sup> |           |            |        |              |                  |
|-----------------------------------------|-----------|------------|--------|--------------|------------------|
| <b>UAV - Procesamiento</b>              | T Proces. | T de Vuelo | Repos. | Amigabilidad | <b>Resultado</b> |
| Mavic 2 Pro Sin puntos de apoyo         | 7,05      | 6,13       | 8,00   | 9,00         | <b>6,97</b>      |
| Mavic 2 Pro Con puntos de apoyo         | 1,00      | 6,13       | 8,00   | 9,00         | <b>4,55</b>      |
| Phantom 4 RTK - PPK                     | 5,31      | 1,00       | 4,00   | 7,00         | <b>3,62</b>      |
| Pesos                                   | 4,00      | 4,00       | 1,00   | 1,00         |                  |

Los valores obtenidos en esta sub matriz de comparación para cada UAV, son utilizados como valores normalizados de los costos variables, en la matriz de comparación principal.

#### 7.4.5 Matriz de comparación: Costo-Beneficio

Una vez obtenidos todos los valores normalizados de cada uno de los factores que se incluyen en este estudio de costo-beneficio, se presenta la matriz de comparación en la Tabla 26.

Tabla 26

##### *Matriz de comparación costo-beneficio*

| <b>UAV - Procesamiento</b>        | <b>Costos Fijos</b> | <b>Costos Variables</b> | <b>% Lados</b> | <b>% Área</b> | <b>Resultado</b> |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|---------------|------------------|
| Mavic 2 Pro - Sin puntos de apoyo | 8,32                | 6,97                    | 6,40           | 7,79          | <b>7,67</b>      |
| Mavic 2 Pro - Con puntos de apoyo | 8,27                | 4,55                    | 9,42           | 9,64          | <b>7,41</b>      |
| Phantom 4 RTK - PPK               | 1,00                | 3,62                    | 9,69           | 9,71          | <b>3,53</b>      |
| Pesos                             | 5,00                | 3,00                    | 1,00           | 1,00          |                  |

De esta matriz se puede inferir que para hacer una mensura rural, se obtiene la mejor relación costo beneficio utilizando el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo. A su vez, la relación costo beneficio del Mavic 2 Pro no presenta mayores variaciones al incluir o no puntos de apoyo.

A los efectos de realizar mensuras rurales, el Phantom 4 RTK es el que presenta la menor relación costo beneficio, ya que si bien sus beneficios son altos, sus costos también lo son.

## 8- Conclusiones/Reflexiones

En este capítulo se exponen las principales conclusiones arribadas en el proyecto, así como reflexiones que han surgido a lo largo de la investigación.

Se puede afirmar que se cumplieron todos los objetivos planteados en el proyecto, tanto el general como los específicos. A su vez, con la metodología utilizada no sólo se generan los insumos necesarios para el análisis comparativo, sino que además se generan como subproductos los ortomosaicos, brindando información complementaria. En ellos, se puede digitalizar, además de la información mencionada, la información correspondiente a las construcciones, los espejos y cursos de agua, los alambrados internos y caminería existentes.

Como principal conclusión, se puede afirmar que, al realizar las comparaciones de los resultados obtenidos con el equipo GNSS, respecto a los obtenidos con cada UAV, todas las referidas a las áreas se encuentran dentro del intervalo  $\pm 2\%$  y todas las correspondientes a las medidas de los lados se encuentran dentro del intervalo  $\pm 2\%$ . Estos resultados indican que, bajo las condiciones en las que se realiza este proyecto, si se consideran los relevamientos obtenidos con GNSS como antecedentes gráficos, se puede afirmar que cualquiera de los tres UAV puede ser utilizado (Mavic 2 Pro, Phantom 4 RTK y Wingtra Gen II) para realizar planos de mensura rurales, cumpliendo con las tolerancias tanto en las áreas (5%), como en los deslindes (2%), exigidas por la Dirección Nacional de Catastro.

De acuerdo, a la matriz costo-beneficio, el UAV que presenta mejor relación es el Mavic 2 Pro sin puntos de apoyo, con un valor de 7,67, seguido por el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo con 7,41 y luego el Phantom 4 RTK con 3,53. Esta diferencia se debe principalmente a los costos fijos considerados. Analizando únicamente los resultados en las diferencias de lados y área, se observa que los mejores valores se obtienen con el Phantom 4 RTK, seguido por el Mavic 2 Pro con puntos de apoyo.

Referido a la incorporación de puntos de apoyo, se visualiza en los procesamientos ejecutados con el Mavic 2 Pro, que al agregarle cinco puntos de apoyo, presenta resultados notoriamente mejores. La diferencia promedio en valor absoluto en área sin puntos de apoyo es de 1,13%, la que baja significativamente al incluir puntos de apoyo a un 0,20%. Así como, en la diferencia en valor absoluto de los lados sin puntos de apoyo es 0,80% y con puntos de apoyo es 0,13%. Siguiendo con el análisis del uso de puntos de

apoyo, otro resultado a destacar, es que el procesamiento realizado con el Mavic 2 Pro utilizándolos, devuelve valores muy similares a los alcanzados con el Phantom 4 RTK sin incluirlos.

En lo que refiere a los relevamientos en los cuales se utiliza el post procesamiento, ya sea estático o cinemático, surgen varias reflexiones. Si al realizar el post procesamiento con los archivos RINEX obtenidos de una base (ya sea REGNA-ROU o propia) no se obtienen buenos resultados, se sugiere cambiar el archivo de navegación de la base por el archivo de navegación de la NASA. Esto, si bien no se investiga en profundidad, dado el alcance del proyecto, puede resultar una sugerencia útil al momento de post procesar. Es importante tener en cuenta que las efemérides transmitidas de la NASA se encuentran siempre actualizadas, mientras que, las utilizadas por la base puede que no sean las más recientes dado que se actualizan cada dos horas. Surgiendo así, una futura línea de investigación, profundizar en el análisis de las razones por las cuales se dan las diferencias de estos resultados al cambiar el archivo de navegación.

Otra posible investigación que puede ser interesante para ampliar lo expuesto en el presente proyecto, es la realización de un análisis comparativo de los modelos digitales de elevaciones resultantes de los diferentes vuelos.

Se plantea como otra posible futura investigación, analizar los motivos por los que no se lograron tener resultados fijos del cálculo de coordenadas de la base propia mediante post procesamiento estático, al realizar el vuelo del Wingtra Gen II. Ya que, el post procesamiento cinemático de los centros de fotos de ese vuelo, bajo las mismas condiciones, logra fijar un 78% de los datos.

En lo que refiere a las limitaciones del proyecto, se considera que hubiera sido más enriquecedor si los resultados de los cuatro procesamientos realizados hubieran sido comparables. Ya que se hubiera alcanzado una mayor cantidad de UAV, sobre todo al incluirlos en la matriz costo-beneficio. Esto no sucedió, ya que, originalmente el proyecto se plantea con la utilización del UAV Ebee X en vez del Wingtra Gen II como UAV de gama alta. De hecho no solo se hacen todas las planificaciones con este UAV, sino que incluso se realiza el vuelo con él, pero al descargar los datos en gabinete ocurre un error en el equipo. Haciéndose además muy difícil volver a coordinar para realizar el vuelo con este UAV, es que se decide optar por otro UAV de gama alta que sustituya al Ebee X. De todas

maneras, se logra contar con los datos de un UAV de gama alta, el cuál es comparado con los resultados obtenidos con GNSS, obteniendo resultados esperables.

Finalmente, uno de los grandes aprendizajes alcanzados en este proyecto, ha sido la capacidad de resolver diferentes circunstancias que sucedieron a lo largo del trabajo. También destacar de este proceso, el valor de realizar las reuniones de forma híbrida (presenciales y virtuales), ya que permitieron una coordinación fluida y un ritmo de trabajo que no hubiera sido posible de otra forma. Otro aspecto a resaltar, es la importancia de la planificación previa de las salidas de campo, especialmente cuando se trabaja con instrumental con el que no se está habituado.

Asimismo se consolida la confianza en el uso de los UAV, ya que en este trabajo se obtuvieron muy buenos resultados para realizar relevamientos rurales. Es por esto, que se considera que es una herramienta útil para ser incorporada junto con los demás instrumentales consolidados en el ámbito de la agrimensura.



## 9- Referencias

- Bermúdez, H. (2016). *Apuntes del curso de fotogrametría*.
- Berné Valero, J. L., Anquela Julián, A. B., & Garrido Villén, N. (2014). *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. Colección Académica. Editorial UPV.
- Blanco, D., Barreto, L y López, R. Apuntes del curso *Teoría de Errores 1*. Universidad de la República.
- Calderon, L y Chiale, C. (2016). Apuntes del curso *Sistemas de Información Geográfica Avanzado*. Universidad de la República.
- Coelho, L., y Brito, J. (2007). *Fotogrametría Digital*. Universidad del Estado de Río de Janeiro.  
[http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria\\_digital\\_revisado.pdf](http://www.efoto.eng.uerj.br/images/Documentos/fotogrametria_digital_revisado.pdf)
- Cualidades del software. (2002). Curso Introducción a la Ingeniería de Software. Universidad de la República [Archivo PDF]  
<https://www.fing.edu.uy/tecnoinf/mvd/cursos/ingsoft/material/teorico/CualidadesSoftware.pdf>
- Decreto 318/995 de 1995 [con fuerza de ley]. Registración de firma y título profesional en la Dirección General del Catastro Nacional. Planos de Mensura. 9 de Agosto de 1995. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/318-1995>
- Galante, D. (6 de setiembre de 2021). *Regulación de drones, sensores y otros dispositivos similares en Uruguay. Reparación de daños*. Galante&Martins.  
<https://galantemartins.com/regulacion-los-drones-uruguay/#:~:text=La%20regulaci%C3%B3n%20establece%20que%20en,de%20la%20zona%20de%20aer%C3%B3dromos>.
- LA, MECE (2020). Interoperabilidad GNSS usando la Red Geodésica Activa [Tesis de Doctorado, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. [Archivo pdf]  
<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/2153/1/Isai%20Robles%20Bravo-TesisFinal.pdf>

-Manual PIX4D. [Documentación PIX4D]. *Procesamiento inicial / Calibración*. Visitado 1 de agosto del 2022.

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/205327965-Menu-Process-Processing-Options-1-Initial-Processing-Calibration>

-Montes, D. *Diagrama BoxPlot* [Página web]

<https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/#:~:text=El%20Diagrama%20de%20Caja%20y,valores%20at%C3%ADpicos%20y%20comparar%20distribuciones>

-Niederer, J. L. (2018). *Agrimensura Legal*. Universidad de la República.

-Pérez Rodino, R. (26-29 de noviembre de 2012). *Studies in Real Time Positioning using Caster-NTRIP: conventional, network solutions and PPP-RTK*. 8° FIG Conferencia Regional 2012.

[https://www.fig.net/resources/proceedings/fig\\_proceedings/uruguay/papers/ts07b/T\\_S07B\\_perez\\_rodino\\_6403.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/uruguay/papers/ts07b/T_S07B_perez_rodino_6403.pdf)

-Pérez Rodino, R. (2021). Apuntes del curso *Geodesia 3*. Universidad de la República.

-Remuán, M. *Manual del operador de RPAs*. [Archivo PDF]

<http://www.aud.org.uy/Downloads/Manual%20del%20operador%20de%20RPAs%20V1.2.pdf>

-Resolución 24/996 de 1996. [Ministerio de Economía y Finanzas]. Uniformización de normas de planos de mensura, copias, formatos, escalas. 9 de Mayo de 1996.

<https://www.gub.uy/ministerio-economia-finanzas/institucional/normativa/resolucion-n-24996-planos-mensura>

-Riaño Rodríguez, E. R. (2018). *Metodología para el diseño de un vuelo fotogramétrico usando UAV'S*. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13097/Ria:jsessionid=EEEF78A5A7F500ADD5EF7829DA1ACE56?sequence=1>

-Velázquez Olivera, A. (S.F). *El mundo de los drones*. [Archivo pdf]

[http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/538\\_cienciorama.pdf](http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/538_cienciorama.pdf)

## Apéndice A. Tablas con resultados

| Lado | GNSS          | Mavic 2 Pro -<br>sin puntos de<br>apoyo |        | Mavic 2 Pro -<br>con puntos de<br>apoyo |        | Phantom 4 RTK<br>PPK |        | Wingtra Gen II -<br>PPK |        |
|------|---------------|-----------------------------------------|--------|-----------------------------------------|--------|----------------------|--------|-------------------------|--------|
|      | metros        | metros                                  | %      | metros                                  | %      | metros               | %      | metros                  | %      |
| 1a   | <b>120,41</b> | 120,32                                  | 0,07%  | 120,34                                  | 0,06%  | 120,41               | 0,00%  | 120,41                  | 0,00%  |
| 1b   | <b>249,25</b> | 252,29                                  | -1,22% | 249,20                                  | 0,02%  | 249,22               | 0,01%  | 249,27                  | -0,01% |
| 1c   | <b>120,57</b> | 120,44                                  | 0,11%  | 120,61                                  | -0,03% | 120,57               | 0,00%  | 120,55                  | 0,02%  |
| 1d   | <b>249,00</b> | 252,04                                  | -1,22% | 248,94                                  | 0,02%  | 248,99               | 0,00%  | 248,89                  | 0,04%  |
| 2a   | <b>120,40</b> | 120,37                                  | 0,02%  | 120,52                                  | -0,10% | 120,50               | -0,08% | 120,45                  | -0,04% |
| 2b   | <b>249,03</b> | 252,22                                  | -1,28% | 248,45                                  | 0,23%  | 249,16               | -0,05% | 249,06                  | -0,01% |
| 2c   | <b>120,20</b> | 120,12                                  | 0,07%  | 120,67                                  | -0,39% | 120,35               | -0,12% | 120,36                  | -0,13% |
| 2d   | <b>249,24</b> | 252,51                                  | -1,31% | 249,51                                  | -0,11% | 249,25               | 0,00%  | 249,02                  | 0,09%  |
| 3a   | <b>120,64</b> | 120,78                                  | -0,12% | 120,49                                  | 0,12%  | 120,53               | 0,09%  | 120,61                  | 0,02%  |
| 3b   | <b>249,21</b> | 252,64                                  | -1,38% | 249,98                                  | -0,31% | 249,24               | -0,01% | 249,10                  | 0,04%  |
| 3c   | <b>120,44</b> | 120,44                                  | 0,00%  | 120,32                                  | 0,10%  | 120,38               | 0,05%  | 120,45                  | -0,01% |
| 3d   | <b>249,13</b> | 252,60                                  | -1,39% | 248,98                                  | 0,06%  | 249,12               | 0,00%  | 249,20                  | -0,03% |
| 4a   | <b>120,49</b> | 120,95                                  | 0,38%  | 120,42                                  | 0,06%  | 120,39               | 0,08%  | 120,37                  | 0,10%  |
| 4b   | <b>249,52</b> | 248,84                                  | 0,27%  | 249,44                                  | 0,03%  | 249,24               | 0,11%  | 249,41                  | 0,04%  |
| 4c   | <b>120,49</b> | 120,71                                  | -0,18% | 120,43                                  | 0,05%  | 120,30               | 0,16%  | 120,31                  | 0,15%  |
| 4d   | <b>249,56</b> | 248,48                                  | 0,43%  | 249,56                                  | 0,00%  | 249,68               | -0,05% | 249,45                  | 0,04%  |
| 5a   | <b>238,12</b> | 236,93                                  | 0,50%  | 237,91                                  | 0,09%  | 237,88               | 0,10%  | 237,97                  | 0,06%  |
| 5b   | <b>249,54</b> | 247,80                                  | 0,70%  | 249,17                                  | 0,15%  | 249,14               | 0,16%  | 249,58                  | -0,02% |
| 5c   | <b>240,84</b> | 239,39                                  | 0,60%  | 240,90                                  | -0,02% | 240,88               | -0,02% | 240,70                  | 0,06%  |
| 5d   | <b>248,84</b> | 244,37                                  | 1,80%  | 248,59                                  | 0,10%  | 248,48               | 0,14%  | 248,60                  | 0,10%  |
| 6a   | <b>120,54</b> | 119,07                                  | 1,22%  | 120,76                                  | -0,18% | 120,65               | -0,09% | 120,70                  | -0,13% |
| 6b   | <b>248,45</b> | 252,15                                  | -1,49% | 248,37                                  | 0,03%  | 248,41               | 0,02%  | 248,41                  | 0,02%  |
| 6c   | <b>120,66</b> | 118,14                                  | 2,09%  | 121,07                                  | -0,34% | 120,70               | -0,03% | 121,02                  | -0,30% |

|                            |               |        |              |        |        |        |              |        |              |
|----------------------------|---------------|--------|--------------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------------|
| 6d                         | <b>248,41</b> | 251,99 | -1,44%       | 248,51 | -0,04% | 248,51 | -0,04%       | 248,39 | 0,01%        |
| 7a                         | <b>120,24</b> | 119,41 | 0,69%        | 120,20 | 0,03%  | 120,12 | 0,10%        | 119,99 | 0,21%        |
| 7b                         | <b>248,56</b> | 252,34 | -1,52%       | 247,92 | 0,26%  | 248,39 | 0,07%        | 248,37 | 0,08%        |
| 7c                         | <b>120,36</b> | 119,82 | 0,45%        | 121,25 | -0,74% | 120,29 | 0,06%        | 120,33 | 0,02%        |
| 7d                         | <b>248,49</b> | 252,51 | -1,62%       | 248,43 | 0,02%  | 248,32 | 0,07%        | 248,28 | 0,08%        |
| 8a                         | <b>160,81</b> | 159,59 | 0,76%        | 160,41 | 0,25%  | 160,45 | 0,22%        | 160,48 | 0,21%        |
| 8b                         | <b>257,64</b> | 255,23 | 0,94%        | 257,52 | 0,05%  | 257,57 | 0,03%        | 257,17 | 0,18%        |
| 8c                         | <b>165,60</b> | 164,71 | 0,54%        | 165,42 | 0,11%  | 165,52 | 0,05%        | 165,56 | 0,02%        |
| 8d                         | <b>219,20</b> | 216,71 | 1,14%        | 219,00 | 0,09%  | 218,97 | 0,10%        | 218,75 | 0,21%        |
| 9a                         | <b>200,83</b> | 201,54 | -0,35%       | 200,85 | -0,01% | 200,77 | 0,03%        | 200,64 | 0,09%        |
| 9b                         | <b>331,36</b> | 330,53 | 0,25%        | 331,62 | -0,08% | 331,42 | -0,02%       | 331,46 | -0,03%       |
| 9c                         | <b>206,27</b> | 206,99 | -0,35%       | 206,33 | -0,03% | 206,36 | -0,04%       | 206,24 | 0,01%        |
| 9d                         | <b>284,04</b> | 281,80 | 0,79%        | 283,80 | 0,08%  | 284,01 | 0,01%        | 283,88 | 0,06%        |
| 10a                        | <b>74,91</b>  | 76,26  | -1,80%       | 75,37  | -0,61% | 74,76  | 0,20%        | 75,08  | -0,23%       |
| 10b                        | <b>410,53</b> | 410,48 | 0,01%        | 410,42 | 0,03%  | 410,25 | 0,07%        | 410,45 | 0,02%        |
| 10c                        | <b>77,52</b>  | 78,47  | -1,23%       | 77,47  | 0,06%  | 77,39  | 0,17%        | 77,60  | -0,10%       |
| 10d                        | <b>392,63</b> | 393,60 | -0,25%       | 392,21 | 0,11%  | 392,19 | 0,11%        | 392,42 | 0,05%        |
| <b>Promedio del error:</b> |               |        | <b>0,13%</b> |        | -0,02% |        | <b>0,04%</b> |        | <b>0,03%</b> |
| <b>Desviación estándar</b> |               |        | 1,00%        |        | 0,21%  |        | 0,08%        |        | 0,10%        |

| Predio N°                  | GNSS            | Mavic 2 Pro - sin puntos de apoyo |               | Mavic 2 Pro - con puntos de apoyo |       | Phantom 4 RTK- PPK |       | Wingtra Gen II - PPK |       |
|----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-------|--------------------|-------|----------------------|-------|
|                            | m2              | m2                                | %             | m2                                | %     | m2                 | %     | m2                   | %     |
| 1                          | <b>30066,62</b> | 30355,01                          | -0,96         | 29983,78                          | 0,28  | 30013,83           | 0,18  | 30008,79             | 0,19  |
| 2                          | <b>29964,72</b> | 30344,87                          | -1,27         | 29958,67                          | 0,02  | 30011,12           | -0,15 | 29986,18             | -0,07 |
| 3                          | <b>30009,82</b> | 30468,47                          | -1,53         | 29956,52                          | 0,18  | 30015,33           | -0,02 | 30029,88             | -0,07 |
| 4                          | <b>30068,48</b> | 30045,13                          | 0,08          | 30032,62                          | 0,12  | 30033,25           | 0,12  | 30011,94             | 0,19  |
| 5                          | <b>59672,88</b> | 58601,90                          | 1,79          | 59579,98                          | 0,16  | 59556,81           | 0,19  | 59613,43             | 0,10  |
| 6                          | <b>29877,32</b> | 29596,67                          | 0,94          | 30039,42                          | -0,54 | 29983,17           | -0,35 | 30021,16             | -0,48 |
| 7                          | <b>29876,23</b> | 30193,83                          | -1,06         | 29959,69                          | -0,28 | 29854,46           | 0,07  | 29839,61             | 0,12  |
| 8                          | <b>38354,73</b> | 37696,38                          | 1,72          | 38282,77                          | 0,19  | 38296,97           | 0,15  | 38255,76             | 0,26  |
| 9                          | <b>61799,91</b> | 61623,93                          | 0,28          | 61781,14                          | 0,03  | 61778,57           | 0,03  | 61733,72             | 0,11  |
| 10                         | <b>30186,36</b> | 30675,87                          | -1,62         | 30246,71                          | -0,20 | 30095,59           | 0,30  | 30219,90             | -0,11 |
| <b>Promedio</b>            |                 |                                   | <b>-0,16%</b> | <b>-0,01%</b>                     |       | <b>0,05%</b>       |       | <b>0,02%</b>         |       |
| <b>Desviación Estándar</b> |                 |                                   | <b>1,31%</b>  | <b>0,26%</b>                      |       | <b>0,19%</b>       |       | <b>0,22%</b>         |       |

## **Apéndice B. Instrumental necesario para el campo**

### Equipo GNSS móvil

- Equipo GNSS base (que guarde datos crudos)
- Trípode (para la base)
- Rádío para transmitir desde la base (con sus cables)
- Base nivelante para la base
- Bastón para el móvil GNSS
- Baterías de GNSS cargadas
- Pintura spray roja (una por cada zona)

### UAV Mavic 2 Pro

- UAV Mavic 2 Pro
- Baterías cargadas
- Tarjeta de memoria con espacio suficiente
- Celular con la aplicación “DroneDeploy” instalada y planes de vuelos cargados
- Cable de conexión UAV-Celular
- Computadora para verificar datos en campo (OPCIONAL)
- Cargador de baterías de auto (OPCIONAL)

### UAV Phantom 4 RTK

- UAV Phantom 4 RTK
- Baterías cargadas
- Tarjeta de memoria con espacio suficiente
- Planes de vuelos cargados
- Computadora para verificar datos en campo (OPCIONAL)

### UAV Wingtra Gen II

- UAV Wingtra Gen II
- Baterías cargadas
- Planes de vuelos cargados
- Tarjeta de memoria con espacio suficiente
- Tablet con software Wingtra Pilot instalado

### **Apéndice C. Planificación de ida a campo**

Definir padrones a relevar, identificarlos

Definir áreas de vuelo, identificarlas, generar sus archivos “.kml”

Definir lugar de los puntos de apoyo, identificarlas, generar un archivo “.ccv” o “.kml”

Definir de dónde se estaciona la base generar un archivo “.ccv” o “.kml”

Definir de dónde despega cada UAV de cada zona, identificarlas, generar un archivo “.ccv” o “.kml”

Definir parámetros de cada vuelo: tamaño de píxel y recubrimiento

Imprimir planificación (zonas, puntos de apoyo)

#### Preparación de equipos

Cargar todos los archivos “.ccv” al GNSS

Cargar los planes de vuelos en los softwares de cada UAV

Cargar baterías equipo GNSS

Cargar baterías drone

Verificar espacio de tarjetas de memoria del equipo GNSS y de cada UAV

#### Recordatorio actividades en campo

Poner mojón en un punto para poner la base (lugar alto)

Estacionar base

Dejar la base grabando datos para relevamiento de los UAV

Relevar los puntos de apoyo ya establecidos de cada zona

Relevar los postes relevantes de los predios de interés

Verificar que estén todos los datos relevados correctamente

Realizar los vuelos con cada UAV

Verificar que las imágenes de todos los vuelos estén guardadas correctamente