INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL

Escuela de Ciencias del Mar

Licenciatura en Cartografía

Tesina

“FOTOGRAMETRÍA AÉREA CON DRONES DE LA LOCALIDAD DE SOLÍS PROVINCIA DE BUENOS AIRES.”

Alumno: Técnico en Geomántica y en Cartografía JOFRE Eduardo Matías

Directores:

Ing. Matías Nahuel POSE

Lic. Mónica María Elisa FIORE

Agradecimientos:

En primer lugar, quiero agradecer a mi Tutora y Directora de Tesina, Licenciada Mónica María Elisa FIORE, extendiendo la misma al Codirector Ingeniero Matías Nahuel POSE, por participar de forma permanente en el proyecto, evacuando dudas en todo momento, y por haber realizado un acompañamiento incondicional, que en cada etapa me guio para lograr y alcanzar los resultados deseados. En las mismas líneas, agradezco a la Escuela de Ciencias del Mar por estar disponible a consultas y permitirme el desarrollo y crecimiento como alumno.

Asimismo, cabe mencionar y agradecer a un compañero y amigo José Luis VELOZO el cual confió y me oriento en el ámbito de la cartografía.

En el contexto personal, quiero hacerlos participe y expresar mi agradecimiento a mi Señor padre Leopoldo Miguel JOFRÉ y a mi Señora madre Edda Gladys MORENO, por su constante e incondicional apoyo durante los años de estudio transcurridos en esta Universidad.

No quiero concluir con los agradecimientos sin dejar de expresar gratitud e involucrar a esta etapa de superación personal, a mi compañera de vida, pareja y amiga Olga Noelia TORRES, quien me acompaño con tesón y esmero en todo momento de este inspirador trabajo.

La culminación de mi trabajo habría sido mucho más complicado y sinuoso sin el apoyo y la motivación de todas las personas que me rodean en lo familiar y lo laboral, pero lograr la meta fue posible.

Como menciono un célebre aviador y escritor:

“Una Meta sin un plan es solamente un deseo.”

Antoine de Saint Exupéry

Índice

CAPITULO 1 6
1.1 Introducción 6
1.2 Importancia de actualizar los datos del Sistema de Información Geográfico.....7
1.3 Objetivos, alcances y expectativas 7
CAPITULO 2 9
2.1 Características de la Fotogrametría 9
2.2 Principios Físicos de la Fotogrametría.....12
2.2.0 Radiación electromagnética.....12
2.3. Principios de Teledetección 13
2.4 Los aparatos de teledetección 13
CAPITULO 3 15
3.1 Cartografía.....15
3.2 Sistema de Proyección a utilizar.....15
3.3 Escala de trabajo 16
3.4 Mapas según la escala.....17
3.5 Escala y proyección del relevamiento 17
CAPITULO 4 18
4.1 DRONES 18
4.2 Componentes mecánicos del Drone 18
4.3 Componentes eléctricos.....19
4.4 Componentes dedicados a la obtención de datos para el uso fotogramétrico 20
4.5 Composición del tipo de Drones 20
4.5.0 Según el tamaño.....20
4.5.1 Según el rango.....20
4.5.2 Según el uso 20
4.5.3 Según el Ala que utiliza 21
4.6 Los principales movimientos que puede hacer un Drone.....22
CAPITULO 5 23
5.1 Sensores 23
5.2 Sensor Multi-espectrales.....23
5.3 Sensor Termal.....24
5.4 Sensor LIDAR 24
CAPITULO 6 26
6.1 Drone utilizado para el relevamiento de la Localidad de Solís 26

6.2 Cámara de Cardan 26
6.3 Rendimiento en el vuelo 27
6.4 Seguridad de vuelo integral 28
6.5 Transmisión de imágenes 28
6.6 Baterías inteligentes 29
CAPITULO 7 30
7.1 Softwares para la planificación del relevamiento fotogramétrico con Drone 30
7.1.0 Dji Pilot 30
7.1.1 Pix4D Capture 30
7.1.2 DroneDeploy 31
7.2 Software utilizado en el procesamiento de imágenes 32
7.3 Distancia focal 35
7.4 Configuración de la cámara 35
7.5 Aspectos a tener en cuenta para el relevamiento 36
7.6 Tipos de misiones 36
7.6.0 Reconstrucción de edificios 36
7.6.1 Casos especiales 37
7.6.2 Mapeo de corredores 37
7.6.3 Vuelos múltiples 37
7.6.4 Reconstrucción de ciudad con fachadas visibles 38
CAPITULO 8 40
8.1 Caracterización del área de estudio 40
8.2 Accesos 40
8.3 Aeródromos 41
8.4 Clima 41
CAPITULO 9 45
9.1 Configuración del Plan de vuelo 45
9.2. Inicio del proyecto 45
9.3. Configuración de parámetros 46
9.4. Configuración de parámetros adicionales 47
CAPITULO 10 49
10.1 Imágenes obtenidas del relevamiento Fotogramétrico de la Localidad de Solís 49
10.2 Ingreso y pasos para el procesamiento de datos en pix4D 50
10.3 Inicio del proceso 55
10.4 Informe de calidad 57

10.5 Primera parte del procesamiento 67
CAPITULO 11 69
Datos obtenidos del procesamiento fotogramétrico.....69
11.1 Nube de Puntos Densa 69
11.2 Malla Poligonal 3D.....69
11.3 Modelo digital de superficie.....70
11.4 Mosaico de Ortofotos 71
11.5 Curvas de Nivel.....71
11.6 Delimitación poligonal de zona urbana.....72
CAPITULO 12 74
Productos obtenidos desde el Análisis de los datos del procesamiento fotogramétrico.....74
12.1 Cuenca Visual 74
12.2 Simulación de zonas afectadas por posible inundación.....74
12.3 Carta de Imagen 76
CAPITULO 13 78
Conclusiones 78
BIBLIOGRAFIA.....80

CAPITULO 1

1.1 Introducción

En la actualidad una de las tecnologías que más ha repercutido en la sociedad por su versatilidad es la utilización de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) o también llamados Drones, los cuales son pequeños aparatos voladores no tripulados que son controlados en forma remota (Rojas Pérez, 2020). El gran salto se dio cuando estos desarrollos introdujeron cámaras de video dando paso a una nueva era en el mundo de los Drones.

Los Drones pueden realizar infinidad de tareas que las personas no pueden o evitan realizar, por ser en muchos casos demasiado riesgosas (Rejado, 2013). Otra ventaja a destacar es que su costo es muy inferior con respecto al de cualquier otra aeronave tripulada. La flexibilidad y la posibilidad de poder controlar a este vehículo a la distancia manteniendo a su operador fuera de peligro lo ponen por encima de cualquier otra actividad similar.

Estos robots pueden tener distintos tamaños, desde unos pocos centímetros hasta varios metros. Una de las características que más llama la atención es el alcance y la velocidad que pueden desarrollar, favoreciendo que puedan ser utilizados en distintos campos para realizar diversas actividades.

Actualmente se emplean en geología, agricultura, cartografía, fotografía y filmación, para el control de incendios, la construcción, el control y análisis del tráfico en ciudades, y en muchas otras tareas (Trejo Mediana et al., 2016).

Uno de los campos en los que su utilización produjo mayor impacto es en el de la fotogrametría, donde gracias a su uso es posible realizar levantamientos de gran precisión en poco tiempo. La fotogrametría es la técnica para obtener mapas y planos de grandes extensiones de terreno por medio de la fotografía aérea. Esta técnica permite hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Es un proceso muy complejo en el que el objetivo principal es convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional. Algunas de estas técnicas existen desde el siglo (XIX) aunque en los últimos doscientos años han recibido importantes avances (López M., 1993). En otras palabras, la fotogrametría es una disciplina que permite la formulación de modelos 3D a partir de fotografías 2D, en donde las mediciones no se realizan sobre el objeto sino sobre imágenes del mismo. La fotogrametría se basa fundamentalmente en las relaciones matemáticas de la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica que posee el ser humano, (Herrera B., 1988).

La fotogrametría con Drones permite conocer las propiedades geométricas de un objeto o una superficie a partir de la información obtenida de varias imágenes. Algo importante a tener en cuenta, es la planificación de la misión ya que tiene que tener la configuración apropiada. Esto habitualmente viene calculado por el software de planificación de vuelos. Estos programas se encargan de calcular secuencias de disparos a partir de la posición esperada del Drone, su altura y el solape deseado.

Las imágenes obtenidas de las diferentes misiones son cargadas en un software fotogramétrico que se encarga de procesarlas y es capaz de “inferir” la posición (x, y, z) de millones de puntos

que servirán para generar las reconstrucciones 3D. La mayor parte de la cartografía relevada en el mundo ha sido generada a partir de la fotogrametría.

Los datos que se encuentran en las publicaciones de distintos organismos tienen una precisión que no permiten trabajar a escalas grandes por lo que las mediciones de (áreas, distancias y volúmenes) tienen errores que pueden ser corregidos o disminuidos con la tecnología Dron.

1.2 Importancia de actualizar los datos del Sistema de Información Geográfico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden definirse como sistemas que permiten almacenar datos espaciales para su consulta, manipulación y representación. Suelen aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales (Tomlinson R.F., 2005).

La necesidad de controlar los cambios acelerados que sufre la superficie terrestre debido a procesos de naturaleza dinámica convierte a los mapas de soporte papel en herramientas inadecuadas debido a su naturaleza estática, pasando los SIG a tomar un rol preponderante en este control. Sin embargo, para que sean realmente útiles, es necesario contar con SIG actualizados para que los distintitos organismos que regulan a la sociedad puedan tomar decisiones claras y precisas para un bien común.

Los SIG constituyen una herramienta utilizada para la toma de decisiones, que permite al usuario decidir cómo manejar el territorio. En un análisis territorial, pueden entregar información de fenómenos geográficos mostrando qué existe, dónde se localiza, cómo ha evolucionado y cómo se distribuye.

Por ejemplo, son una importante herramienta en el ámbito de la planificación energética proporcionando información que sirve para establecer una gestión eficaz de los recursos energéticos (ESRI, 2007).

Con el desarrollo del modelo fotogramétrico y la utilización de Drones, se puede afirmar que los datos tanto cuantitativos como cualitativos permiten identificar distintas unidades con mayor precisión sobre la superficie terrestre. Esto da una mejor percepción para la confección de la cartografía pudiendo originar modelos exportables a espacios territoriales con mayor o menor extensión.

1.3 Objetivos, alcances y expectativas

El objetivo de esta tesina es generar un relevamiento fotogramétrico de la localidad de Solís, Partido de San Andrés de Giles, Provincia de Buenos Aires. Se utilizan imágenes obtenidas con un Vehículo Aéreo no tripulado Drone, las cuales al ser procesadas aportaran datos de mayor resolución para los análisis y procesos en aplicaciones (SIG), en donde se podrá visualizar y analizar los datos del área abordada.

Los objetivos específicos son:

- La Planificación y ejecución del vuelo.
- La definición de los parámetros de vuelo en función de la superficie, la reglamentación estipulada y la escala de trabajo.
- El procesamiento de los datos obtenidos, en el gabinete.
- La confección de productos afines a la cartografía.
- El estudio de las precisiones obtenidas en el procesamiento.

Expectativas:

Disminuir los tiempos de trabajo en campo y el procesado de datos, para que los costos sean menores.

Los datos obtenidos y la metodología planteada, darán una mejor resolución espacial, de la superficie a ser trabajada, dado que, cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital mayor es la resolución espacial por consiguiente mayores son los detalles que pueden ser captados.

Alcances:

El análisis, estudio y metodologías de procesamiento de imágenes obtenidas con vehículos aéreos no tripulados VANT, permite generar productos de gran calidad para la cartografía.

CAPITULO 2

2.1 Características de la Fotogrametría

La Fotogrametría es la técnica mediante la cual podemos conocer las dimensiones y posición de un determinado objeto en el espacio, esto se logra mediante la intersección de dos o más fotografías. Santamaría Peña et al. (2011) la define como el conjunto de procesos y métodos para deducir medidas de un objeto.

La palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photós", luz, y "gramma", trazado, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y "metrón", medir. Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos".

En la historia de la fotogrametría se pueden distinguir tres etapas: la fotogrametría ordinaria, la estereofotogrametría analítica y la estereofotogrametría automática.

En 1858, el francés Laussedat, realizo planos de edificios y de pequeñas extensiones de terreno a partir de fotografías con gran exactitud, siendo este el inicio de la fotogrametría, la cual en sus principios fue llamada fotografía ordinaria. El método fue utilizado hasta principios del siglo XX; y el principal inconveniente era encontrar dos puntos homólogos en las fotografías tomadas desde distintos puntos de vista.

En el año 1909 se logró mejorar el método aplicado a la fotogrametría terrestre, gracias al austríaco Von Orel que diseñó el aparato denominado estereoautógrafo. Este fue el primer aparato capaz de construir y dibujar planos en forma automática.

En el año 1934 se creó la Sociedad Americana de Fotogrametría, por lo que EEUU comienza a tener un uso más general, si bien el término ya era utilizado en Europa con anterioridad.

Es en 1966 cuando se amplía la disciplina gracias a la aplicación de los sensores remotos. En 1979 toma una nueva definición la Fotogrametría: es la mezcla de arte, ciencia y tecnología. Por la que se obtiene información de objetos físicos y del medio ambiente, a través de registros, medición e interpretación de imágenes fotogramétricas y de cualquier otro patrón de energía electromagnética (Orellana Ramírez, 2006).

La fotogrametría a lo largo de su historia no ha remplazado a la topografía; por el contrario, van acompañadas ya que las operaciones topográficas sirven de base a los levantamientos fotogramétricos, es la que conecta el terreno con la cámara y las imágenes.

La fotogrametría básica se aplica con éxito en otros campos como, por ejemplo, la geología, arqueología, servicio forestal, agricultura, conservación ecológica, operaciones militares, investigación pericial, etc., (Vite, 2005). Es de esperar que la fotogrametría desempeñe un papel importante en la obtención de datos necesarios para los sistemas catastrales modernos. En el campo de la ingeniería se utiliza, por ejemplo, en la construcción de puentes. Se realiza primero la fotointerpretación en la zona del anteproyecto para luego elaborar los planos. Esto era realizado con vuelos fotogramétricos y en la actualidad es remplazada por vuelos con Drones.

La fotogrametría con Drones permite producir modelos digitales utilizando fotografías mediante su procesamiento y análisis con softwares específicos, logrando resultados confiables con gran eficiencia.

Existen tres tipos de fotografías aéreas, la diferencia radica en el ángulo de inclinación del eje óptico (Orellana Ramírez, 2006). La Figura 1 muestra la representación de una toma fotográfica vertical que es aquella en la que el eje óptico se aproxima al eje vertical y como máximo la inclinación de la cámara no supera los 3 grados.

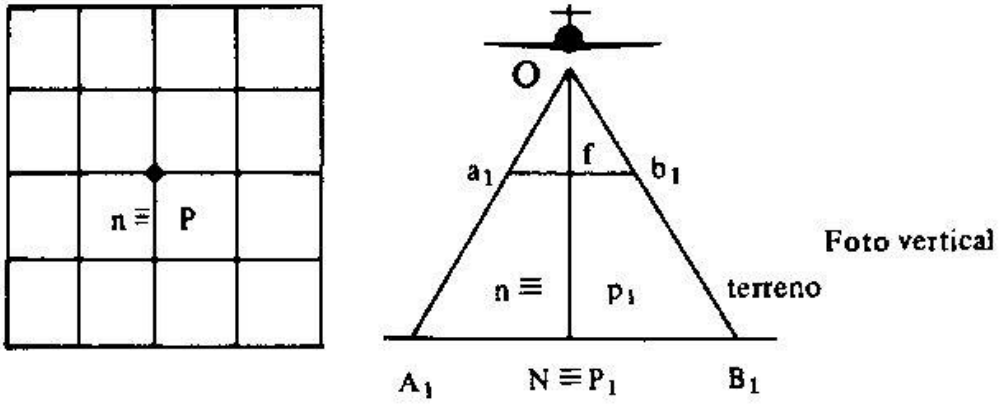


Figura 1. Representación de una toma fotográfica vertical. Fuente: (Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa da Densidade de Povoamentos Florestais, Araujo et al., 2019)

La Figura 2 muestra la representación de las tomas oblicuas que son las fotografías en las que el ángulo de inclinación de la cámara con respecto al eje vertical supera los 3 grados y no registra el horizonte.

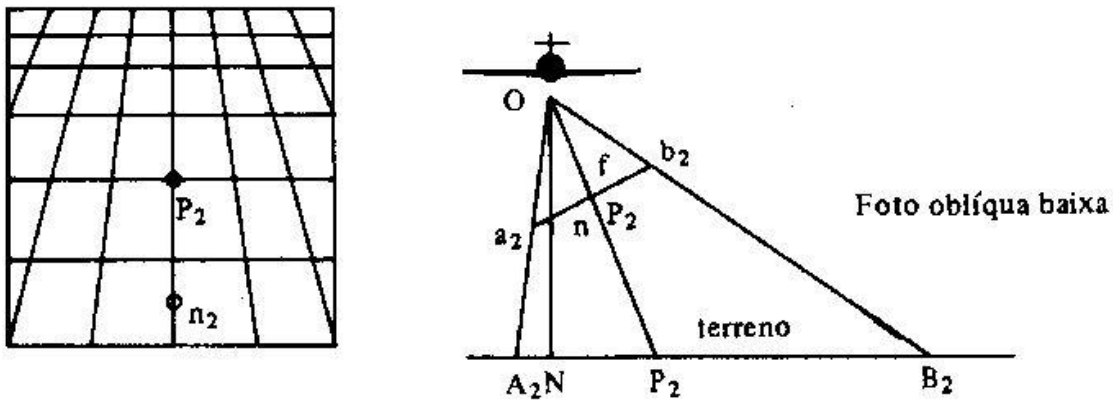


Figura 2. Representación de una toma fotográfica oblicua. Fuente: (Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa da Densidade de Povoamentos Florestais, Araujo et al., 2019)

La Figura 3 Finalmente, muestra la representación de una toma fotográfica aérea Horizontal en la que el eje óptico tiene un Angulo de inclinación muy elevado por lo que se registran el horizonte.

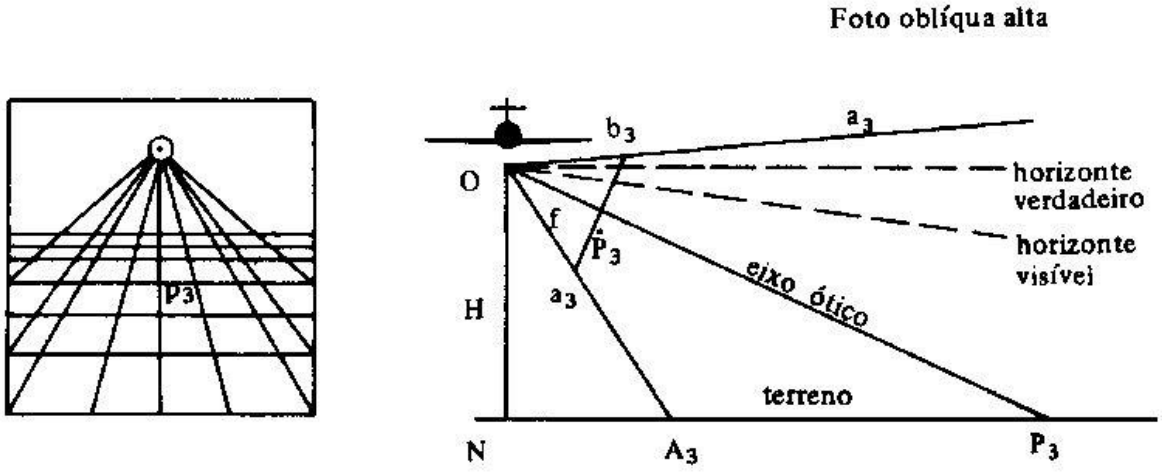


Figura 3. Representación de una toma fotográfica horizontal. Fuente: (Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa da Densidade de Povoamentos Florestais, Araujo et al., 2019)

A las imágenes obtenidas con una cámara fotogramétrica montada en una aeronave se le realizan los procesos de orientación para llegar a la restitución fotogramétrica. Para conseguir y obtener la visión estereoscópica del terreno reflejada en la fotografía, se debe realizar la colocación de puntos de apoyo con coordenadas precisas a cada representación de la misma. Este proceso fotogramétrico esta aplicado internamente en el procesamiento de las imágenes obtenidas con el Drone.

La configuración que se efectúa internamente en el software para llegar a la restitución consiste en orientación interna, relativa y absoluta. La orientación interna es el proceso fotogramétrico que nos permite reconstruir el haz de rayo de una imagen. La orientación relativa se realiza para determinar en un par fotogramétrico las orientaciones angulares y la posición relativa de ambas fotos en el momento de la toma para asegurar que los rayos homólogos se intercepten. La orientación absoluta realiza el modelo estereoscópico.

Finalmente, se debe determinar un factor de escala y posicionar, respecto de un sistema de coordenadas.

Una ortofotografía, es una fotografía aérea corregida geométricamente (ortorectificada). A diferencia de una imagen aérea, una Ortofoto puede ser utilizada para realizar mediciones ya que es una representación de la superficie terrestre, en la que se han corregido las distorsiones inherentes a las imágenes aéreas. Las Ortofotos combinan las características de detalle y cobertura temporal de las fotografías aéreas y la escala uniforme y precisión geométrica de los mapas, lo que permite ser usadas en muchas ocasiones como fondo base sobre la que se superponen los elementos de un mapa.

2.2 Principios Físicos de la Fotogrametría

2.2.0 Radiación electromagnética

Los sensores utilizados en fotogrametría detectan y registran radiación electromagnética. Las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por la existencia en cada punto del espacio en que se transmiten de un campo eléctrico y un campo magnético relacionados entre sí. Las ondas electromagnéticas presentan una variación periódica que se propaga en el vacío a una velocidad de 300.000 km/seg.

La radiación electromagnética presenta la denominada dualidad onda-partícula, ya que además de poder ser considerada como una onda, se puede considerar como un flujo de paquetes de energía denominados fotones. Esta radiación, vista como una onda, posee un espectro de períodos de onda y, consecuentemente, de frecuencia distintos. Como ejemplos se encuentra la luz visible, la región del infrarrojo, del ultravioleta, entre otras. La Figura 4 muestra el espectro electromagnético, que es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia. Cubre una región de longitudes de onda que varían en 22 órdenes de magnitud, y que va desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Únicamente una pequeña parte de él es visible al ojo humano.

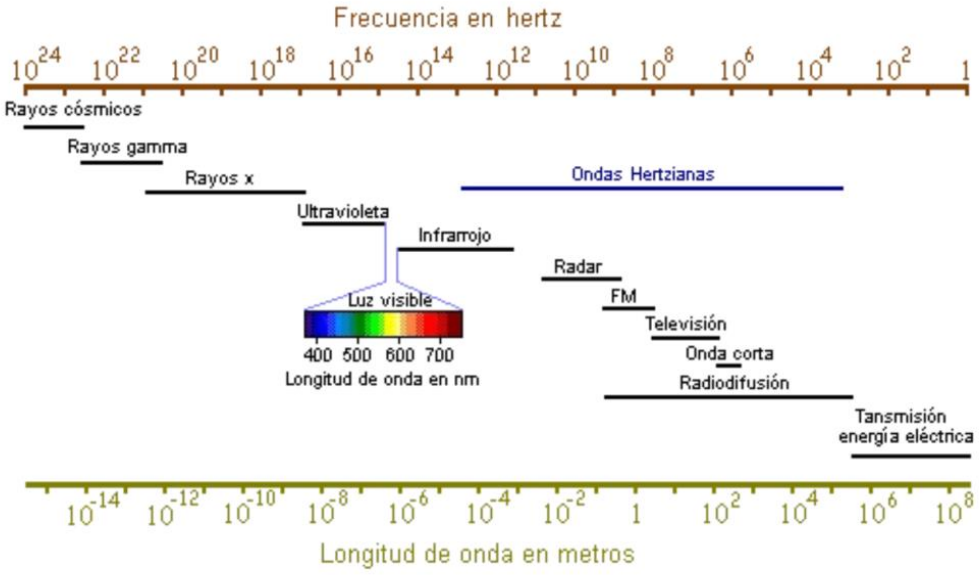


Figura 4. Espectro electromagnético. Fuente: (B@UNAM, CUAIEED)

De todas las radiaciones que llegan al ojo humano el hombre solo está capacitado para distinguir una pequeña porción de ellas. Esta gama de radiaciones se denomina espectro visible. Una cámara fotográfica utilizada en un Drone, es un sensor que capta y registra sólo la pequeña parte del espectro electromagnético correspondiente al visible. Ésta se ubica aproximadamente en una longitud de onda de entre 400 nm y 700 nm.

La luz blanca o visible está compuesta de diferentes colores. La luz solar que impacta sobre un prisma de cristal proyecta en un plano 7 franjas de colores diferentes: rojo, naranja, amarillo, azul, añil y violeta, a esta gama de colores la llamamos espectro de luz visible. Fenómeno que se denomina dispersión de la luz. El color rojo posee la longitud de onda más larga y el violeta la más corta. Los colores siempre aparecen en el mismo orden. Si mezclamos la luz de los 7 colores obtendremos luz blanca.

2.3. Principios de Teledetección

La teledetección es el estudio a distancia de las ondas emitidas o reflejadas por los objetos. Resulta conveniente conocer los diferentes dominios del espectro electromagnético, las fuentes de energía utilizadas, así como las perturbaciones que provocan la atmósfera sobre el espectro electromagnético está dividido en varios dominios y son todos utilizados por la teledetección, (Galván F. M., 2012).

2.4 Los aparatos de teledetección

Es necesario distinguir dos tipos de aparatos, los aparatos fotográficos y los no fotográficos. Los primeros, registran la energía reflejada de los objetos en el espectro visible y en el infrarrojo cercano. La energía irradiada por los objetos luego de su focalización va a impresionar una placa sensible generando la imagen latente la cual por un proceso de laboratorio dará origen a la imagen fotográfica negativa. Los aparatos no fotográficos registran la energía reflejada por los objetos en el espectro visible en el infrarrojo cercano, medio y lejano. Esta energía luego de su focalización es analizada por uno o varios detectores que transforman la variedad de la energía en variaciones de potencial eléctrico.

Las técnicas de teledetección se basan en las propiedades que ofrecen los cuerpos para emitir o reflejar la energía electromagnética y poder reconocerlos a través de imágenes aéreas. La mayor disponibilidad de imágenes satélite nos permite analizar infinidad de factores territoriales en cortos periodos de tiempo pudiendo elaborar cartografía estratégica y analítica.

En el caso de utilizar un Dron, el vehículo sobrevuela la superficie a estudiar y el sensor obtiene los datos necesarios de la energía proveniente de los rayos del sol reflejada o refractada sobre la superficie del terreno. Posteriormente, esta información es procesada. La Figura 5 muestra la representación de la fuente de energía, pasiva, su trayectoria e interacción con la atmósfera, la incidencia en la superficie terrestre, el haz reflejado y la energía captada por el sensor del Drone.

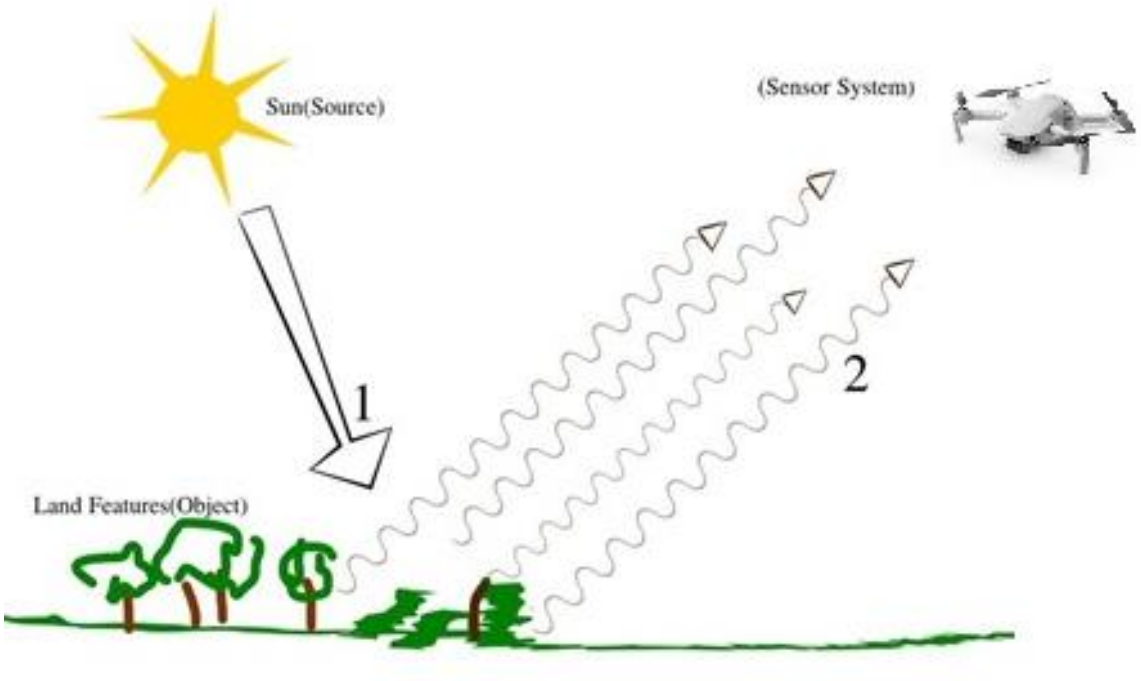


Figura 5. Representación de la fuente de energía. Fuente: (Cárdenas Hernández O., 2019)

El Dron, como se mencionó anteriormente, es un vehículo no tripulado reutilizable que tiene la capacidad de mantener un mismo nivel de vuelo controlado y sostenido. Un Dron topográfico estándar tiene la capacidad de cubrir grandes superficies de terreno.

CAPITULO 3

3.1 Cartografía

La palabra cartografía tiene su origen en los vocablos charta del latín que significa papel que sirve para comunicarse o carta y grapho del griego que significa descripción, estudio o tratado. La cartografía estudia los diferentes sistemas o métodos para representar sobre un plano una parte o la totalidad de la superficie terrestre de forma tal que las deformaciones que se produzcan se mantengan dentro de los límites permitidos que dependerán de las características de la representación (Bugayevskiy, et al., 1995).

El objeto de la cartografía es reunir / analizar datos y medidas de diferentes regiones de la Tierra y representarlas gráficamente con una escala adecuada, pero de forma tal que todos los elementos y detalles sean claramente visibles (Santamaría Peña el al., 2011). En otras palabras, la cartografía es una ciencia que permite realizar una representación del espacio geográfico mediante la utilización de la escala y los sistemas de proyección. El resultado de esto es la representación del terreno sobre un plano.

Si la superficie a representar es pequeña puede aproximarse por un plano horizontal o tangente al esferoide terrestre en un punto central, sobre el cual se proyectan los puntos singulares determinados mediante instrumentos que miden coordenadas polares horizontales, ángulos y distancias. Si la superficie es de dimensiones mayores, no puede ser considerada como un plano, sino como una superficie esférica o elipsoidal a la cual deben referirse las coordenadas medidas utilizando los métodos Geodésicos y la topografía.

Cuando la Tierra se proyecta sobre un plano, es imposible evitar la deformación, sin embargo, aplicando propiedades matemáticas, se realizan proyecciones que permiten mantener alguno de los parámetros que interesan conocer al momento de utilizar un mapa, como, la distancia, la superficie o la forma. Según se mantengan alguno de estos parámetros las proyecciones se clasifican en equidistantes, equivalentes y conformes. En la equidistante se conservan las distancias, en la equivalente las superficies y en la conforme la forma o la relación angular entre puntos.

Entre todas las proyecciones, ninguna es la mejor, depende de las necesidades específicas a la hora de usar el mapa.

3.2 Sistema de Proyección a utilizar

La elección del sistema de proyección a utilizar depende del propósito que se le va a dar. Para que la cartografía realizada con los datos del relevamiento fotogramétrico con Drones sea eficiente hay que tener conocimientos de la proyección a emplear. No es conveniente ignorar el control de la proyección tanto en la planificación, como en los datos a utilizar, o el trabajo final contendrá errores considerables.

La proyección empleada en un proyecto hará que los elementos se visualicen con mayor o menor deformación. Cada zona territorial presenta un sistema de proyección más apropiado (GIS&Beers, 2018).

La utilización de diferentes proyecciones implica obtención de datos geométricos de superficies y coordenadas ligeramente diferentes. La aplicación de cartografía con diferentes proyecciones sobre una misma vista genera desplazamientos en las capas y errores en los cruces posteriores (Ángeles et al., 2011). La Figura 6 muestra los diferentes tipos de proyecciones que pueden ser aplicadas, teniendo en cuanta la zona geográfica en la cual se desarrollan los trabajos Cartográficos.

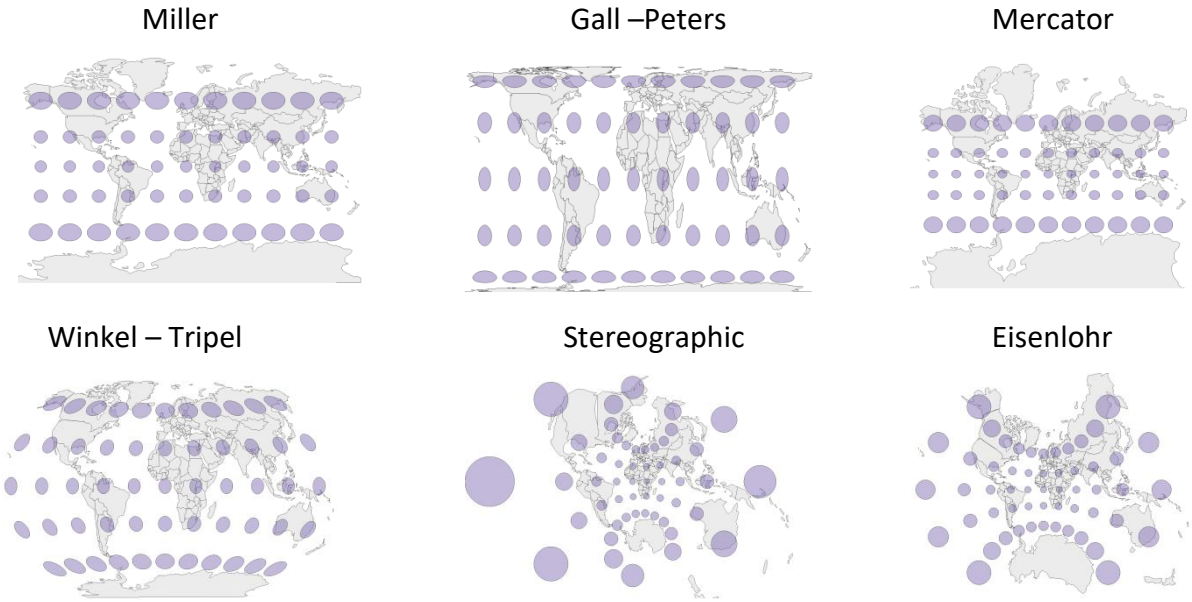


Figura 6. Representación de los distintos tipos de Proyección. Fuente: (GIS&Beers, 2018)

3.3 Escala de trabajo

Para la digitalización mediante fotointerpretación, debe definirse la escala de trabajo sobre la que se desarrollara la cartografía. Esto es fundamental para poder mantener un equilibrio en las formas y los tamaños de los elementos representados sobre la superficie ya que algunos son pequeños y difíciles de apreciar. La relación existente entre las distancias medidas en un plano o mapa y las correspondientes en la realidad es la que se denomina escala. Por lo tanto, es una proporción entre dos magnitudes lineales, independientemente del sistema de unidades de longitud que se utilice. El tipo de escala que se utiliza para representar un mapa permite conocer la relación entre las dimensiones reales del terreno y las medidas con el plano o mapa.

Hay distintas formas de representar la escala:

- Numérica

La escala numérica se expresa mediante una fracción que indica la relación entre la distancia medida de dos puntos en el mapa (numerador) y la correspondiente en el terreno (denominador) de modo directo entre unidades del sistema; así la escala 1:60.000.000 o 1/60.000.000 indica que una unidad medida en el mapa equivale a 60 millones de unidades medidas en la realidad.

- Gráfica

La escala gráfica es una línea situada en el mapa, a menudo en el margen de la hoja, que se ha subdividido en segmentos para indicar las longitudes sobre el mapa de las unidades terrestres de distancia. Gracias a este elemento, es posible medir la distancia real directamente sobre el mapa con la ayuda de una regla o un compás.

- Textual o Literal

La escala textual se expresa, claramente, mediante una relación escrita y literal. Por ejemplo, en el caso ilustrado sería: "un centímetro representa 600 kilómetros".

3.4 Mapas según la escala

Mapas de pequeña escala: Son los que representan zonas de la superficie terrestre de grandes dimensiones por lo que es de gran importancia tener en cuenta la esfericidad de la Tierra. En estos mapas los niveles de detalle son mínimos. La escala que representan es de 1:100.000 o menores. Algunos mapas representados a esta escala son provincias, países, continentes y hemisferios.

Mapas de gran escala: Son los que representan zonas de la superficie terrestre de pequeñas dimensiones, los detalles de los elementos representados son mayores. La escala que representan los planos es a partir de 1:2.000 o mayores. En este tipo de escala se incluye la cartografía realizada mediante datos obtenidos con Drones, (IGN, Gobierno de España).

En los Sistema de Información Geográfico (SIG) uno tiene la capacidad de realizar zoom sobre los diferentes objetos que visualiza, pero no se debe confundir esta capacidad con un cambio de escala. Los conceptos de escala en los SIG se suelen usar a la hora de la digitalización para definir que objetos se capturaran y con qué precisión, según el posterior uso que se les dé a los mismos.

3.5 Escala y proyección del relevamiento

Los Drones son una herramienta ideal para cubrir los vacíos que existen entre los levantamientos con aerofotografía y los levantamientos convencionales en tierra. Por lo tanto, los diseños de las planificaciones de vuelo se hacen a la resolución o la escala a la que se pretende obtener datos, teniendo en cuenta el tipo de terreno, su ubicación y principalmente la extensión a trabajar.

Las resoluciones obtenidas en las imágenes del relevamiento permiten generar productos cartográficos entre las escalas 1:500 ha 1:100.

Los datos surgidos del UAV son referidos en el sistema WGS 84 proyección UTM 21S.

CAPITULO 4

4.1 DRONES

Según la Real Academia de Lengua Española la palabra “Dron” del inglés “Drone” hace referencia a una Aeronave no Tripulada, la cual es manejada a la distancia de forma remota, mediante un control remoto. Los vehículos que se pueden clasificar como aeronaves son aquellos que pueden navegar por el aire.

Por lo tanto, un Drone es un Vehículo aéreo manejado de forma remota. Siendo otra forma de definirlo como un robot aéreo.

Las Agencias que regulan y controlan el Espacio Aéreo utilizan el término RPAS (Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia) o UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado).

En 1935 el Oficial Estadunidense William H. Standley, asistió a una demostración de la Marina Británica en la cual se presentó una nueva aeronave por control remoto llamada el DH 82B Queen Bee. En los EEUU, William H. Standley ordeno a la Marina Norteamericana construir algo similar a lo realizado por sus pares británicos, la persona a cargo del proyecto fue el comandante Delmer Fahney el que acuño con el nombre de “Drone” a dicho aparato. La Figura 7 muestra uno de los primeros Vehículo Aéreos no Tripulados.

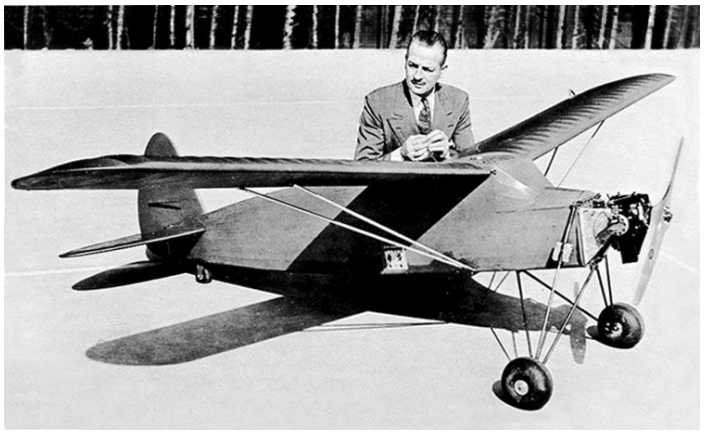


Figura 7. Representación de uno de los primeros Drones fabricados. Reginald Denny y su RP-1 Radioplane, 1935. Fuente: (Hargrave e the Pioneers, 2005)

En la segunda Guerra Mundial la Armada y la Marina de EEUU produjeron Drones para identificar objetivos y Drones de asalto y combate, (Delgado V., 2016).

4.2 Componentes mecánicos del Drone

Estructura. Parte donde se montan y se apoya el resto de componentes, se busca que la misma reduzca al máximo las vibraciones producidas por los motores al hacer girar las hélices.

Hélices: el número de hélices dependerá del número de rotores que tenga el Drone, su función es la de impulsar y estabilizar el aparato en el aire.

Motores: van conectados a las hélices y se encuentran justo debajo de éstas, en la parte exterior de la estructura. La Figura 8 muestra las distintas configuraciones que han sido desarrolladas para satisfacer las necesidades de los consumidores según el número de motores.

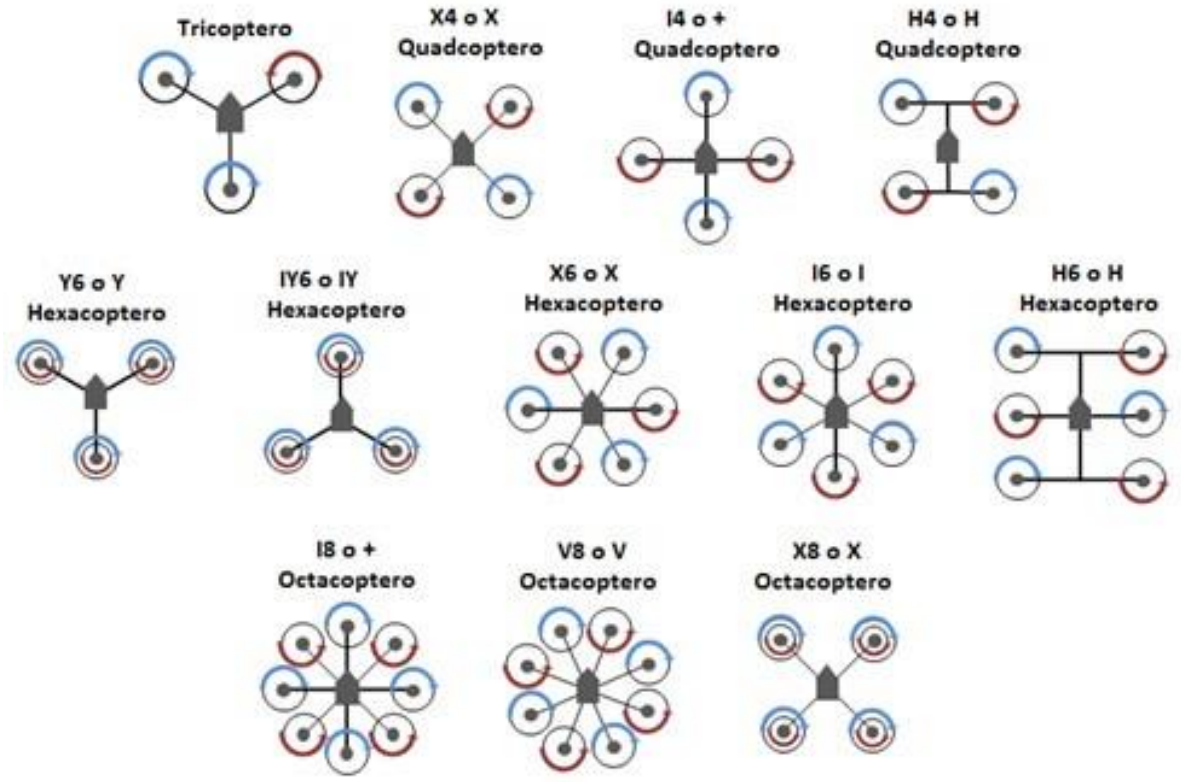


Figura 8. Drone según la cantidad de motores. Fuente: (Juguetecnic, 2019)

4.3 Componentes eléctricos

Control electrónico de velocidad: controla la velocidad y la dirección del Drone.

Batería: alimenta a todos los componentes eléctricos.

Control remoto: es el dispositivo que controla el Drone y que nos permitirá manejarlo desde donde estemos.

Placa controladora: su función es conseguir la estabilidad en el vuelo transmitiendo información al Control Electrónico de Velocidad.

4.4 Componentes dedicados a la obtención de datos para el uso fotogramétrico

Cámara: captura imágenes con su sensor y resoluciones en megapíxeles, sus obturadores mecánicos hacen que las misiones de mapeo o la captura de datos se realicen sin problemas.

GPS: proporciona datos de posicionamiento en tiempo real para una precisión absoluta, los mismos son almacenados en los metadatos de la imagen.

Gimball: permite que se capturen escenas de mejor calidad gracias a la estabilización de la cámara.

Sensores de obstáculo: brindan mejor seguridad en todas las direcciones dando una mejor experiencia de vuelo en general.

Sensor de presión barométrica digital con sensor de temperatura ayudará a medir la velocidad vertical, mejorará la navegación GPS y determinará la altitud del Dron.

4.5 Composición del tipo de Drones

4.5.0 Según el tamaño

Nano Drones, que pueden tener incluso el tamaño de un insecto grande.

Mini Drones, algo más grandes, pero siempre por debajo de los dos metros.

Drones medianos.

Drones grandes, que suelen tener usos militares o relacionados con la vigilancia.

4.5.1 Según el rango

Drones de alcance muy cercano, no más de 5 km.

Close Range Drones, que cubren hasta 50 km.

Drones de corto alcance, hasta 150 km.

Drones de rango medio, de hasta 650 km.

4.5.2 Según el uso

Militares.

Aplicaciones industriales.

Agrícolas o ganaderos, etc., (Área Dron, 2019).

Fotogramétricos.

4.5.3 Según el Ala que utiliza

Ala Fija

Los Vehículos Aéreos no tripulados de ala fija tienen mayor autonomía por lo que pueden permanecer en el aire durante más tiempo he incluso horas. Se pueden realizar trabajos que abarquen gran extensión del terreno, también es más eficiente aerodinámicamente lo que le permite volar sin motor gracias a que puede PLANEAR, dando esta última característica mayor rendimiento al trabajo realizado.

Las desventajas se pueden observar en el despegue y el aterrizaje ya que el mismo no puede hacerlo verticalmente, requiriendo de un espacio lineal suficiente. La Figura 9 muestra la toma superior de una UAV de ala fija Trimble (UXS HP).

Figura 9. Drone de ala fija. Fuente: (DELAIR, 2020)

Helicópteros

Los Vehículos Aéreos no tripulados monomotor (Helicópteros) son más polivalentes a la hora de realizar algún tipo de operación ya que el mismo tiene mayor capacidad de carga y autonomía gracias a que posee un motor y una hélice de gran tamaño.

Las desventajas de este aparato es el complejo nivel mecánico que nos lleva a tener un constante servicio de mantenimiento para obtener un vuelo óptimo y seguro. La Figura 10 muestra la toma lateral de un Drone Helicóptero Monorotor.

Figura 10. Drone Monorotor. Fuente: (Power by Zima Robotics, 2020)

Multirotores

Los Vehículos Aéreos no tripulados multirotor son la herramienta más utilizada actualmente, son muy eficientes en operaciones por su facilidad de pilotear y la velocidad de montaje. Los vehículos que cuentan con una mayor cantidad de brazos son más estables y seguros.

Pero esto también nos da como desventaja el tiempo de vuelo ya que con mayor cantidad de motores es mayor el consumo de energía restando autonomía en las operaciones que tengan planificadas, (Power by Zima Robotics). La Figura 11 muestra la toma de un Drone Quadcoptero DJI Inspire

Figura 11. Drone Quadcoptero. Fuente: (CameraNU.nl, 2020)

4.6 Los principales movimientos que puede hacer un Drone

Guiñada: desplazamiento hacia la derecha o izquierda del eje vertical.

Inclinación: desplazamiento hacia la derecha o izquierda del eje longitudinal.

Cabeceo: rotación hacia delante o hacia atrás con respecto al eje transversal.

Altitud: elevación en vertical, (Juguetecnic,2019)

CAPITULO 5

5.1 Sensores

Son dispositivos capaces de detectar los cambios que surgen en el entorno. Convierten un fenómeno físico en analógico el cual es medible, o en algunos casos en una señal digital la cual es transmitida a una pantalla donde es procesada y visualizada por el ojo humano. Se pueden detectar fenómenos físicos como el de la energía del sonido la cual es convertida en una señal eléctrica que puede ser transmitida, grabada y reproducida en el mismo lugar o en otros.

Hay distintos tipos de sensores, los cuales son utilizados según la necesidad de medición, como, ejemplo:

Termómetros: medir la temperatura.

Deformímetros: medir la deformación de un objeto por presión, tensión, peso, etc.

Sensores LVDT: medir el desplazamiento en una distancia (x).

Acelerómetros: medición de vibraciones y golpes.

Micrófonos: capturar ondas sonoras.

Convertidores de corriente: medir corriente alterna o continúa.

Transformadores de tensión: medir potenciales de alta tensión.

Sensores ópticos: detectar luz, transmitir datos y reemplazar sensores convencionales.

Sensores de cámara: capturar imágenes 2D únicas y continuas.

Sensores digitales: conteo discreto de encendido / apagado, codificación lineal y giratoria, mediciones de posición, etc.

Sensores de posicionamiento (GPS): capturar la posición longitudinal y latitudinal basada en GPS, GLONASS y otros sistemas de posicionamiento por satélite, (Smith, 2020).

5.2 Sensor Multi-espectrales

Hay muchas radiaciones que están más allá de la visible RGB las cuales son de gran importancia para otros campos como la agricultura de precisión. Estas radiaciones no son captadas por el ojo humano, por lo que es necesario contar con un sensor multiespectral que es montado en distintos tipos de aeronaves no tripuladas para realizar trabajos de agricultura de precisión en el rango del espectro electromagnético de (0,68 a 0,75 micras) y el infrarrojo cercano (0,75 a 1,7 micras) el cual es de interés para el sector agrícola, (Aerial Insights, 2019). La Figura 12 muestra el Sensor Parrot Sequoia multiespectral que ofrece una solución integral, adaptable y compatible con todo tipo de Drones.

Figura 12. Sensor Multi-espectrales. Fuente: (ILVO ISENCE, 2020)

5.3 Sensor Termal

Todos los cuerpos emiten radiación infrarroja (calor), la cual se modifica dependiendo la temperatura del cuerpo. La variación del rango en el espectro es muy amplia entre (450-750 nanómetros) y está fuera del rango visible al ojo humano. Las cámaras térmicas están preparadas para captar estas radiaciones, a las que se ha diseñado y calibrado para ser colocadas en los vehículos aéreos no tripulados para trabajar en el infrarrojo térmico, en el rango del espectro entre 8 y 14 micras, (Aerial Insights, 2019).

La Figura 13 muestra el sensor Flir Duo Pro R 640, es una cámara térmica, que proporciona imágenes radiométricas térmicas y de luz visible de alta calidad. Su tamaño compacto y su embalaje ligero hacen de la FLIR Duo R una cámara ideal para cargas útiles de Drones.

Figura 13. Sensor termal. Fuente: (APLITER Termografía, 2020)

5.4 Sensor LIDAR

Los sensores Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR), son utilizados desde los años 70 en los laboratorios de la NASA, sin embargo, esta tecnología ha adquirido en el último tiempo mayor

popularidad. Es una técnica de teledetección mediante la cual se puede determinar la distancia entre un censor emisor y un objeto. El funcionamiento del sistema consiste en emitir haces de rayos laser los cuales viajan por el aire he impactan en el objeto y su reflejo retorna al censor emisor permitiendo calcular la distancia entre la fuente emisora y el objeto a medir. Sabiendo la dirección en la que fue emitido el rayo, la distancia recorrida y repitiendo el proceso, un LIDAR es capaz de generar una nube de puntos muy densa que se ajusta perfectamente al entorno que ha sido escaneado, (Aerial Insights, 2019).

La Figura 14 muestra el sensor SCOUT 16 que utiliza la tecnología LIDAR con una precisión absoluta 55 mm y un alcance del láser 80m el cual es flexible a la hora de realizar vuelos fotogramétricos, de Drones.

Figura 14. Sensor LIDAR. Fuente: (Aero Expo, 2020)

CAPITULO 6

6.1 Drone utilizado para el relevamiento de la Localidad de Solís

El Drone utilizado en relevamiento fotogramétrico es el Multirotor Phantom 4 Pro V2.0 que cuenta con un sensor CMOS de 1 pulgada que puede gravar videos 4K / 60 fps con una resolución de 20 mega pixeles (MP). La conectividad del sistema de transmisión OcuSync 2.0 HD es confiable y estable, en vuelo el vehículo puede detectar obstáculos en 5 direcciones por lo que permite mayor seguridad en las operaciones de trabajo, (Dji, 2020). La Figura 15 muestra el Drone Phantom 4 Pro V2.0 utilizado en el relevamiento fotogramétrico.

Figura 15. Drone Multirotor. Fuente: (Runco Argentina, 2021)

6.2 Cámara de Cardan

Es una cámara integrada montada sobre un Gimbal - Soportes y Estabilizadores para Cámaras, con un sensor CMOS de 20 MP de 1 pulgada y un obturador mecánico el cual elimina la distorsión generada en los obturadores rodantes. El procesamiento de imágenes captura los detalles del ambiente como así los metadatos necesarios para una posterior posproducción del trabajo, (Dji, 2020).

La Figura 16 muestra la cámara con la que se obtuvo las imágenes para realizar el procesamiento fotogramétrico. Posee una lente gran angular f / 2.8 optimizada, lo que garantiza fotos y videos consistentemente detallados y nítidos manteniendo la precisión del color.

Figura 16. Cámara Cardan. Fuente: (Dji, 2020)

Esta cámara cuenta con un obturador mecánico preciso que elimina la distorsión que genera un obturador rodante, por movimientos elevados sobre la superficie terrestre o la alta velocidad del Drone. La Figura 17 muestra dos imágenes capturadas con distintos obturadores, en las que se pueden observar las diferencias generadas por la distorsión por el movimiento.

Figura 17. Imágenes en movimiento. Fuente: (Dji, 2020)

6.3 Rendimiento en el vuelo

El Drone cuenta con varios modos de vuelo tanto autónomos como manuelas los cuales otorgan a los pilotos el control que necesitan tanto en suavidad, simplicidad y velocidad máxima (metros por segundo).

El rendimiento esta principalmente vinculado con el consumo y duración de la batería la cual está condicionada por el clima ya que varios dispositivos suelen ser bastantes ligeros y volarlos en malas condiciones climáticas pueden generar colisiones o desgaste de la fuente de alimentación debido a que el aparato está siendo forzado a volar a su capacidad máxima provocando el consumo más rápido que las en condiciones normales, (Tododrone, 2016).

6.4 Seguridad de vuelo integral

Flight Autonomy es una plataforma avanzada de inteligencia aérea y automatización de vuelos que brinda confianza al capturar imágenes. La vista en tiempo real de todo el entorno de vuelo permite que el Drone genere un mapa 3D de sus 360° los cuales son cruciales para el vuelo seguro. Las unidades de medición inercial IMU y las brújulas redundantes monitorean los datos críticos y descartan posibles errores, mejorando drásticamente la confiabilidad del vuelo.

La detección de obstáculos por sensores colocados en 5 direcciones mejora la seguridad del vuelo en general. La Figura 18 muestra el Drone en vuelo, con sus sensores activos para detectar posibles obstáculos que se interpongan en la seguridad del vuelo.

Figura 18 Sensores activos. Fuente: (Dji, 2020)

6.5 Transmisión de imágenes

La transmisión de video utilizada entre el control remoto y el Phantom 4 Pro V2.0 es OcuSync 2.0. Esta es tecnología de multiplexación por división de tiempo para enviar señales de control y recibir señales de video simultáneamente por lo que se puede transmitir en video de 1080p a una distancia de hasta 8000 m. Es compatible con la frecuencia de 2,4 GHz y 5,8 GHz, OcuSync 2.0 la cual busca la banda de menor frecuencia con la menor interferencia y cambia en consecuencia para mantener una transmisión clara. La Figura 19 muestra el comando del Phantom 4 Pro V2.0, necesario para realizar las configuraciones para el vuelo.

Figura 19 Control de comando. Fuente: (Dji, 2020)

6.6 Baterías inteligentes

La aplicación de vuelo DJI muestran la duración de las baterías y calcula el tiempo restante de vuelo. Gracias a esta aplicación, cuando el Drone alcanza una distancia al punto de despegue equivalente a la que puede recorrer con la batería restante, un mensaje alerta al piloto.

La inteligencia de las baterías evita la sobrecarga y el drenaje excesivo. La Figura 20 muestra la extracción de la batería del Phantom 4 Pro V2.0. para ser intercambiada.

Figura 20 extracción de batería. Fuente: (Dji, 2020)

CAPITULO 7

7.1 Softwares para la planificación del relevamiento fotogramétrico con Drone

Existe una amplia gama de aplicaciones disponibles para realizar la planificación de vuelos para fotogrametría. Las más destacadas en el mundo de los Drones son.

7.1.0 Dji Pilot

Es una aplicación que se encuentra disponible en las plataformas de Android y iOS, que permite realizar planificación de misiones no solo para fotogrametría sino también para fotografía y filmación. La adaptación de la plataforma se realiza en forma inmediata y almacena los registros de vuelos que son de gran importancia en la seguridad de las misiones, (Area insights, 2019). La Figura 21 muestra la pantalla principal para la planificación del relevamiento fotogramétrico de DJI Pilot.

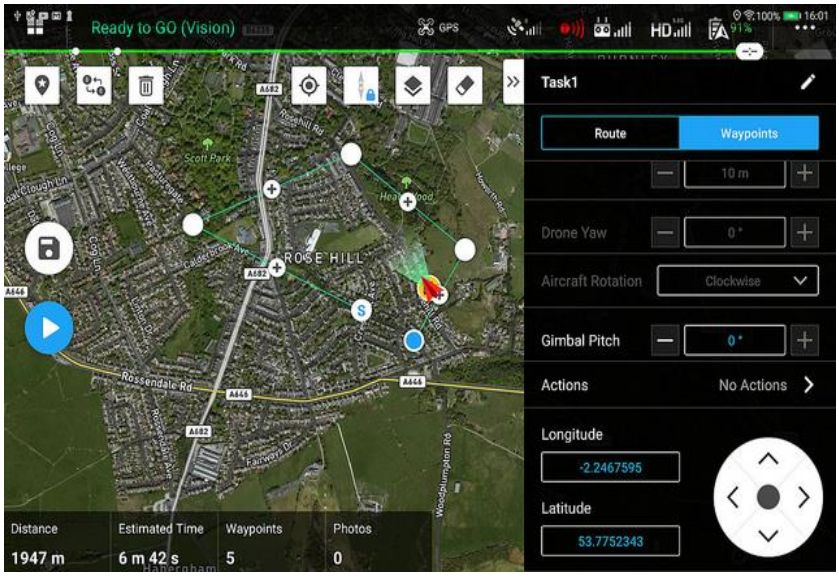


Figura 21 pantalla principal de Dji Pilot. Fuente: (Epay, 2020)

7.1.1 Pix4D Capture

Está disponible en ambas plataformas de Android y iOS. Es compatible con una amplia gama de Drones que se encuentran en el mercado. Debido a que la aplicación es de Pix4D se tienen una integración perfecta al momento de procesar las imágenes obtenidas del vuelo. La aplicación también tiene una clara forma de configurarla para el mapeo parámetros tales como, velocidad, altura, % solapamiento, ángulo de inclinación de la cámara, etc. La Figura 22 muestra la pantalla principal para la planificación del relevamiento fotogramétrico de Pix4D Capture.

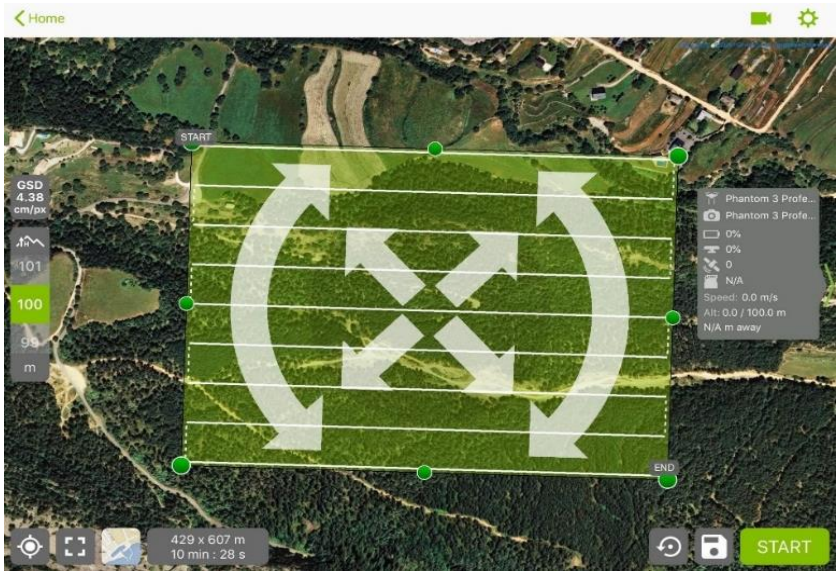


Figura 22 pantalla principal de Pix4D Capture. Fuente: (Terradrone, 2019)

7.1.2 DroneDeploy

Es de los más sencillos de utilizar, compatible con una amplia gama de Drones y está disponible para las dos plataformas nombradas anterior mente. Esta aplicación es similar a la plataforma pix4D, lo singular y característico de la aplicación es que al final del mapeo tiene la opción de realizar un vuelo circular con una inclinación diferente de la cámara por lo que estas imágenes darán una gran mejora a la reconstrucción del modelo 3D. La Figura 23 muestra la pantalla principal para la planificación del relevamiento fotogramétrico de DroneDeploy.

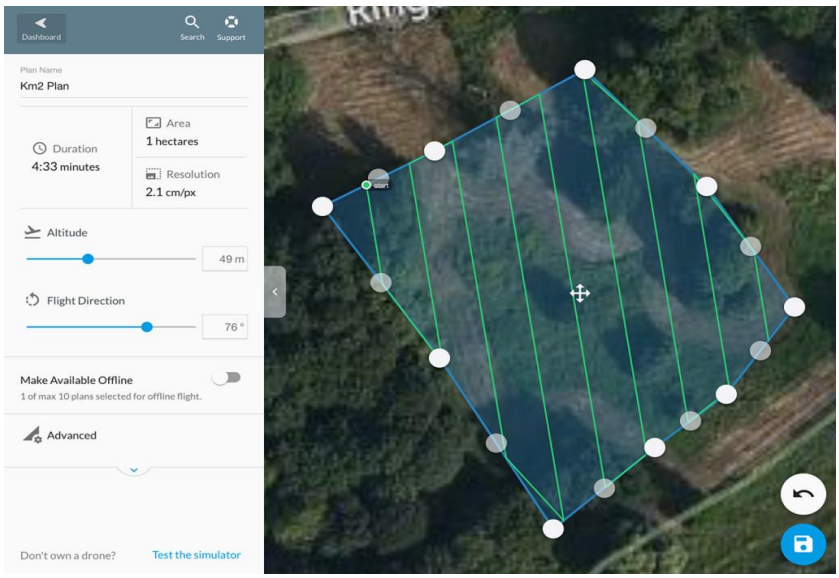


Figura 23 pantalla principal de DroneDeploy. Fuente: (Sören H., 2017)

7.2 Software utilizado en el procesamiento de imágenes

Las imágenes obtenidas con cualquier cámara (RGB, térmicas o multiespectral), que está montada sobre un Drone pueden ser tomadas mediante la aplicación Pix4Dcapture.

Los datos pueden ser procesados mediante Pix4Dmapper, el cual permite transformar las imágenes en Modelos Espaciales Digitales. El software cuenta con dos plataformas de procesamiento fotogramétrico una de escritorio y otra para la nube.

Para el detalle de los datos procesados el software genera un informe de calidad del procesamiento y los resultados generados, detallando los datos de calibración y otros indicadores del proceso.

Con el producto ya procesado se puede obtener información sin necesidad de acudir a otros métodos de medición. Los datos obtenidos tienen nivel topográfico con precisión relativa centimétrica, 1-2 pixeles GSD (Ground Sample Distance) en planimetría; 2-3 pixeles GSD en altura.

El pixel indica la superficie homogénea más pequeña que forma parte de la imagen. Al visualizar una imagen digital en un ordenador podemos variar el zoom y de esta manera es posible visualizar los pixeles que componen dicha imagen los que se representan a la vista como cuadrados (Pérez Porto et al., 2009).

En la edición de imágenes existen parámetros que deben tenerse en cuenta para generar e ilustrar los valores alojados en los pixeles y obtener de esta manera una cartografía de mejor calidad. En el proceso de generación de Modelo Digital de Terreno (MDT), los ráster adquieren profundidad de pixel que albergan un mayor o menor rango de valores.

Es necesario definir una naturaleza de píxel y formato de archivo para identificar los valores que pueden adquirir las celdas y evitar manejar ráster excesivamente pesados. Para entender el concepto se debe saber que el menor valor en informática es de 1 bit en el que se almacenan dos valores y por lo tanto dos colores; 8 bits almacenan 256 valores. En niveles superiores, 16 bits albergan más de 65 mil valores, y 24 bits permiten trabajar con 16 millones de valores, en nuestro caso colores. Los formatos de imágenes varían en distintos tipos, dos de ellos son los Joint Photographic Experts Group (JPG) y Tagged Image File Format (TIFF), los que son considerablemente diferentes ya que los JPG albergan 8 bits, por lo que tienen 256 valores de colores y los TIFF albergan 24 bits, por lo que tienen 16 millones de colores.

Una vez obtenidas las imágenes con el vehículo aéreo no tripulado, estas son procesadas y se obtienen distintos productos cartográficos en donde el píxel juega un papel importante a la hora de montar el mosaico final. La resolución de píxel de las imágenes tomadas infiere en la resolución de las celdas del mosaico que estemos montando. La clave en la designación del tamaño de píxel la tendrán parámetros como la altura de vuelo o la distancia focal. La escala de trabajo adecuada puede ser definida por la siguiente relación de parámetros.

1/Et = F/H = CCD/GSD

Donde,
Et: es la escala a la que deseamos trabajar
F: es la distancia focal de la cámara del Dron
H: es la altitud a la que realizamos el vuelo
CCD (Charge Coupled Device): tamaño de pixel del sensor óptico
GSD (Ground Sample Distance): tamaño de píxel proyectado sobre terreno

Los parámetros determinan la escala de trabajo y la resolución del pixel. El disponer de algunos de estos parámetros ayudara a gestionar mosaicos con igual resolución a distintas alturas de vuelo, (GIS&Beers, 2018). En los terrenos con cambios de pendientes muy bruscos es importante tener en cuenta que los vuelo se realizan a una altura constantes, por lo tanto, si se realizan varios vuelos siempre se debe tener en cuenta que el lugar de despegue debe ser siempre el mismo o tener la misma cota entre ellos ya que el Drone no sigue la referencia del geoide y esto puede conllevar en pixeles con errores de resolución.

Para comenzar un proyecto es necesario configurar los parámetros de la cámara tomando los metadatos de las imágenes obtenidas, o bien del manual del censor utilizado, (Pix4D, 2021). La Figura 24 muestra las opciones de imágenes que pueden ser importadas al software.

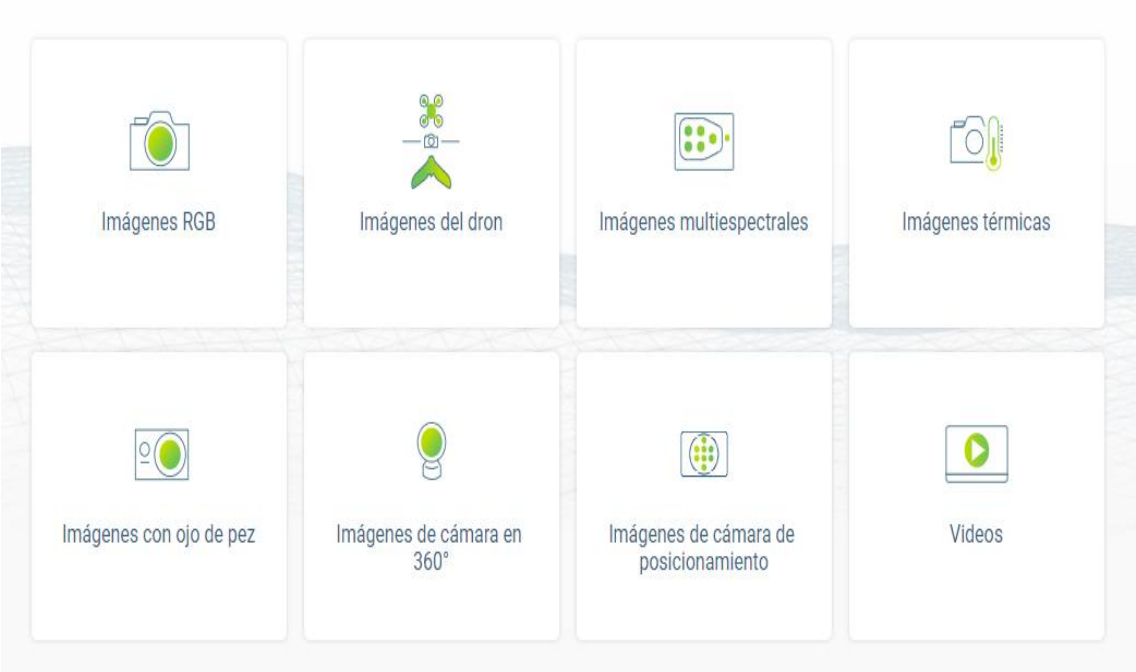


Figura 24. Opciones para importación de datos. Fuente: (Pix4D, 2021)

El software Pix4Dmapper puede importar y procesar imágenes tomadas con distintos dispositivos para la obtención de productos 3D y cartográficos. La Figura 25 muestra las cámaras con las que pueden capturar imágenes para ser procesada.

Cámaras compactas ligeras.

Cámaras DSLR.

Cámaras de gran formato.

Cámaras de acción.

Plataformas de cámara.

Cámaras multiespectrales.

Cámaras térmicas.

Teléfonos inteligentes.

Cámaras panorámicas de 360°.

Figura 25. Cámaras que obtienen datos a ser procesados por software. Fuente: (Pix4D, 2021)

7.3 Distancia focal

Pix4Dmapper no recomienda una distancia focal ya que no hay límites en las distancias de los lentes, pero es recomendable que dentro del procesamiento las imágenes sean obtenidas sin variar su distancia focal. La siguiente Tabla resume las características y recomendaciones según los requerimientos del trabajo.

Solicitud	Recomendación	Por qué
Cartografía: proyecto aéreo con una altura de vuelo superior a 50 metros.	Lente en perspectiva: entre 22 mm y 80 mm de distancia focal (equivalente a 35 mm).	Para asegurar un buen GSD que conducirá a resultados de mayor precisión.
Reconstrucción en interiores / corta distancia.	Lente ojo de pez: distancia focal muy corta.	Flexibilidad en la adquisición de datos: asegurando una mayor superposición.

Características y recomendaciones

Dependiendo de la distancia focal con la que cuente la cámara, será el resultado que se obtenga en los procesos. Cuanto más amplio sea el campo de visión (distancia focal corta), menos imágenes se requiera para lograr una superposición suficiente. Esto es especialmente útil si no se puede configurar un plan de vuelo regular y denso. Sin embargo, la resolución espacial será baja, lo que dará lugar a resultados menos precisos.

Si el campo de visión es estrecho (distancia focal larga), se necesitarán contar con más imágenes para garantizar una superposición suficiente al mapear la misma área. La resolución espacial será mayor en este caso, lo que dará lugar a resultados más precisos.

Es aconsejable que la distancia focal sea fija reduciendo el ruido de las imágenes producidas dando una mejor nitidez, (Pix4D, 2021).

7.4 Configuración de la cámara

Los ajustes de las cámaras, (velocidad de obturación, apertura y el ISO) deben estar correctamente configurados evitando la obtención de imágenes que contengan ruido y sean borrosas. Por lo que es aconsejable antes de realizar la misión tomar una imagen de control para verificar que los parámetros a utilizar sean correctos.

Para el procesamiento, las imágenes deben ser lo más nítidas posibles y tener la menor cantidad de ruido. Estas imágenes se pueden obtener cuando la escena tiene una iluminación adecuada y constante. Se deben evitar las nubes dispersas, las misiones con amplio rango horario (variación en las sombras) y los parámetros de la cámara deben estar bien ajustados, de no cumplirse con esto se dificultará encontrar puntos comunes en las diferentes imágenes reduciendo la precisión del procesamiento (Pix4D, 2021)

7.5 Aspectos a tener en cuenta para el relevamiento

Los vuelos de Ala fijas y Multicopteros, con cámaras RGB, multiespectrales o térmicas deben ser, Flexibles tanto para misiones planificadas de forma automática con o sin conexión.

Precisos en su altitud, ángulo de la cámara, superposición de imágenes y velocidad de vuelo.

Utilizar desde el comienzo de la misión hasta el final del proceso el mismo software para no generar conflicto de compatibilidad en alguno de los pasos de los procesos.

Selección del Drones compatible con el software a ser utilizado.

Selección de la Misión adecuada dependiendo del proyecto a realizar.

7.6 Tipos de misiones

7.6.0 Reconstrucción de edificios

Es necesario un plan de adquisición de imágenes específico, volando alrededor del edifico con la cámara inclinada en un ángulo de 45° aumentando la altura del vuelo y disminuyendo el ángulo de la cámara en cada vuelta. En la Figura 26 se observa como varia el ángulo de la cámara dependiendo de la altura del vuelo.

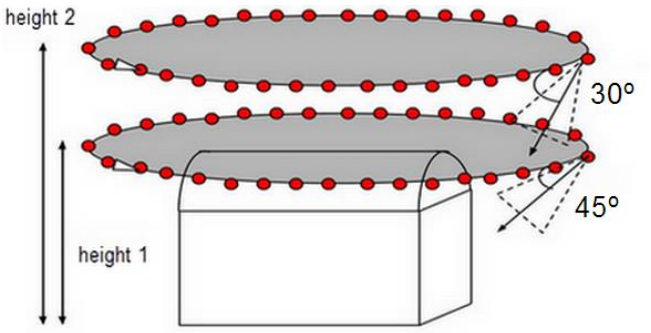


Figura 26. Angulo de tomas fotográficas dependiendo de la altura para reconstrucción de edificios. Fuente: (Pix4D, 2021)

7.6.1 Casos especiales

La superficie es difícil de mapear como por ejemplo lugares con nieve, arena, agua, etc.

Estos lugares tienen poco contenido visual por lo que es difícil que el programa identifique puntos en común entre las imágenes siendo necesario realizar vuelos por lo menos con un solape de 85% frontal y 70% lateral y configurar los ajustes de exposición y consonancia para obtener el mayor contraste posible en cada imagen.

7.6.2 Mapeo de corredores

Se encuentran vías de ferrocarril, carreteras o ríos requiere de por lo menos 2 líneas de vuelo y un solapamiento de por lo menos 85 % solape frontal y al menos 75 % solape lateral. En la Figura 27 se observa los corredores para el mapeo de vías de comunicación.

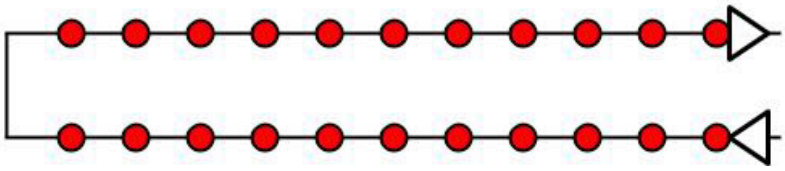


Figura 27. Mapeo de corredores. Fuente: (Pix4D, 2021)

7.6.3 Vuelos múltiples

Se puede procesar imágenes tomadas en diferentes vuelos. Teniendo en cuenta que el solapamiento entre cada plan de vuelo sea suficiente, que las tomas de imágenes sean realizadas bajo las mismas condiciones climáticas y que la dirección del sol sea la misma. En la Figura 28 se observa dos planes de vuelos diferentes que tienen una zona de solapamiento.

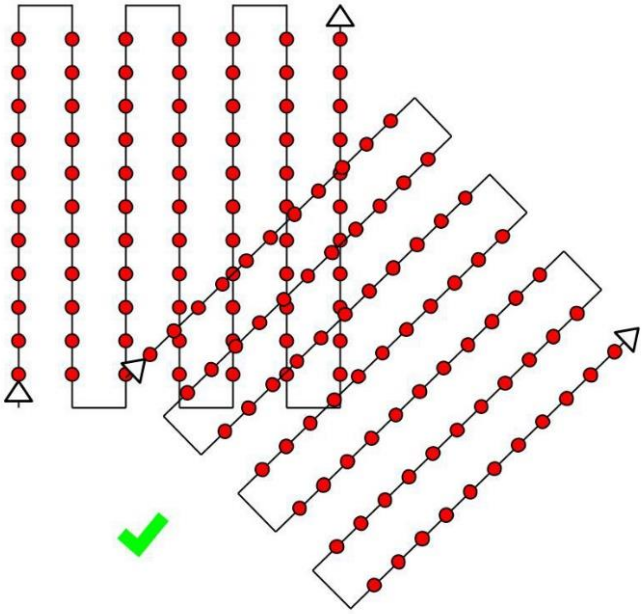


Figura 28. Recorrido de dos vuelos múltiples. Fuente: (Pix4D, 2021)

7.6.4 Reconstrucción de ciudad con fachadas visibles

En los modelos 3D de superficies urbanas es necesario un plan de vuelo de doble cuadricula donde las imágenes que se obtengan tengan visible la fachada de los edificios y para esto es necesario que la cámara se encuentre con un ángulo de entre 10° y 35°con respecto a la vertical. En la Figura 29 se observa los recorridos de Norte a Sur y Este a Oeste.

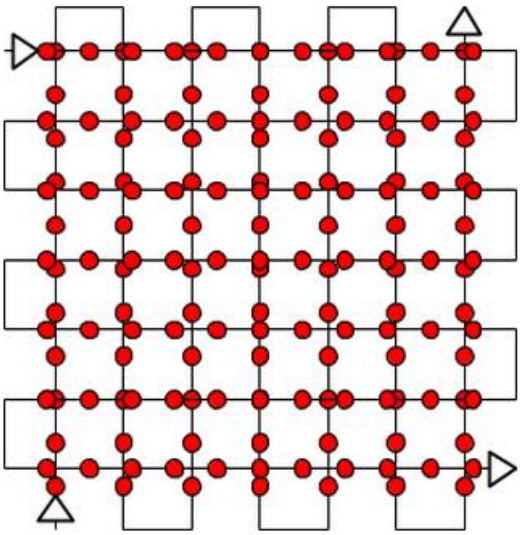


Figura 29. Recorridos para la reconstrucción 3D. Fuente: (Pix4D, 2021)

7.6.5 Reconstrucción de objetos verticales grandes

Torres de energía eléctrica, turbinas de viento, etc. requiere de un plan de adquisición de imagen específico, volar cerca y varias veces alrededor de la estructura con un solapamiento no menor al 90% entre cada imagen y que el solapamiento entre cada pasada de altura sea de 60%, con un ángulo del 45°.

La Figura 30 muestra los recorridos de alrededor de la estructura.

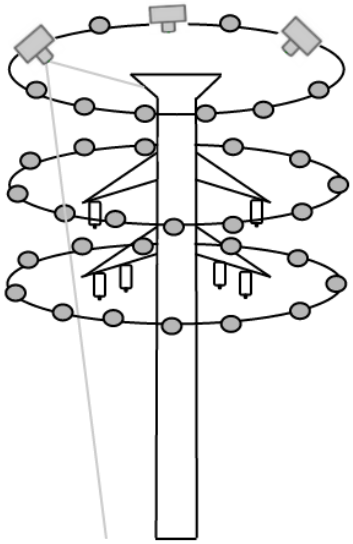


Figura 30. Recorridos alrededor de la estructura. Fuente: (Pix4D, 2021)

CAPITULO 8

8.1 Caracterización del área de estudio

El área de estudio se ubica en la localidad de Solís en el Partido de San Andrés de Giles, Provincia de Buenos Aires, a 98 km de la Ciudad Autónoma de Buenos aires. El tiempo estimado de viaje entre las dos ciudades es de aproximadamente 1 h 10 min, siendo la distancia en línea recta entre ambas ciudades de 91 km.

La plaza Principal de Solís está ubicada en las coordenadas geográficas (34°17'53.10"S, 59°19'25.12"O). A unos 37 m sobre el nivel del mar y su población registrada es de 2005 habitantes INDEC (2010).

Históricamente el 16 de julio de 1894 fue inaugurada la estación Solís, del Ferrocarril Central Argentino, ramal Victoria Pergamino.

El relieve de la zona se caracteriza por ser principalmente llano con muy poca diferencia de alturas.

8.2 Accesos

Los accesos a la localidad son a través de la Ruta Nacional 8, (Tramo Buenos Aires) que tiene un recorrido total de 251 km (desde el kilómetro 32.18 hasta el km 283.61) con orientación noroeste desde su inicio a una altitud de 17 msnm hasta su finalización a una altitud de 81 msnm. Otro acceso es a través del Camino Provincial Secundario 094-01, (o también Ruta 094-01) que tiene un recorrido aproximado de 19 km con orientación sudoeste desde su inicio en Solís hasta su finalización en San Andrés de Giles a 52 msnm. Y la Ruta Nacional 193 que es una ruta de la provincia de Buenos Aires la cual tiene un recorrido total de 32 km con orientación sudoeste desde su inicio en Zarate a una altitud de 24 msnm hasta su finalización en Solís a una altitud de 38 msnm, (De rutas y destinos, 2021). La Figura 31 muestra los accesos principales a la Localidad de Solis.

Figura 31. Accesos a la localidad de Solís. Fuente: (elaboración propia mediante el software Google Hearth Pro)

8.3 Aeródromos

Los aeródromos que se encuentran en las cercanías a la localidad de Solís son utilizados para formación de pilotos, vuelos recreativos, de fumigación agropecuaria, paseos en Globo aerostático y para el aterrizaje o despegue de cualquier otra aeronave. Por lo que es necesario tomar todas las indicaciones necesarias para realizar cualquier otra actividad aeronáutica.

El aeródromo más cercano es el de San Antonio de Areco que se encuentra a una distancia de 14 km, localizado en la provincia de Buenos Aires en coordenadas GPS 34°13’15”S y 59°26’29”O, a una altitud de 40 msnm., y a una distancia de 107 km hacia el noroeste de Capital Federal. Las rutas que se encuentran en las proximidades al aeropuerto son la ruta Provincial 31, ruta Nacional 8, camino Secundario 095-02, RP 41, camino 094-04 y camino 095-05.

El segundo en proximidad es el aeródromo de San Andrés de Giles con una distancia de 21 km, localizado en la provincia de Buenos Aires en coordenadas GPS 34°28’17”S y 59°25’26”W, a una altitud de 51 msnm., y a una distancia de 97 km hacia el noroeste de Capital Federal. Las rutas que se encuentran cercanas al aeropuerto son el Camino Secundario 094-02, Camino 094-01, Ruta Provincial 41, Ruta Nacional 7, Camino 094-03 y Camino 094-09.

Y por último a una distancia de 30 km se encuentra el aeródromo de Zarate, localizado en la provincia de Buenos Aires en coordenadas GPS 34°07’09”S y 59°05’00”W, a una altitud de 27 msnm., y a una distancia de 85 km hacia el noroeste de Capital Federal. Las rutas que se encuentran cercanas al aeropuerto son el Camino Secundario 038-04, Camino 038-01, Ruta Nacional 12, Ruta Provincial 6, Camino 038-08 y RN 193, (De rutas y destinos, 2021)

8.4 Clima

La localidad se encuentra en una zona afectada por tormentas severas, pero de poca frecuencia las cuales son advertidas por las estaciones meteorológicas de San Antonio de Areco, Zarate y Lujan.

Las mejores condiciones climáticas en la localidad de Solís se presentan desde enero hasta abril y de septiembre a diciembre, donde el clima es agradable y con pocas precipitaciones. La temperatura máxima promedio es de 33**°**C en enero y de 15°C en julio. Los datos anuales están basados en los datos de los últimos 10 años de estadísticas climáticas. La Figura 32 se observa el gráfico con la variación de temperatura anual.

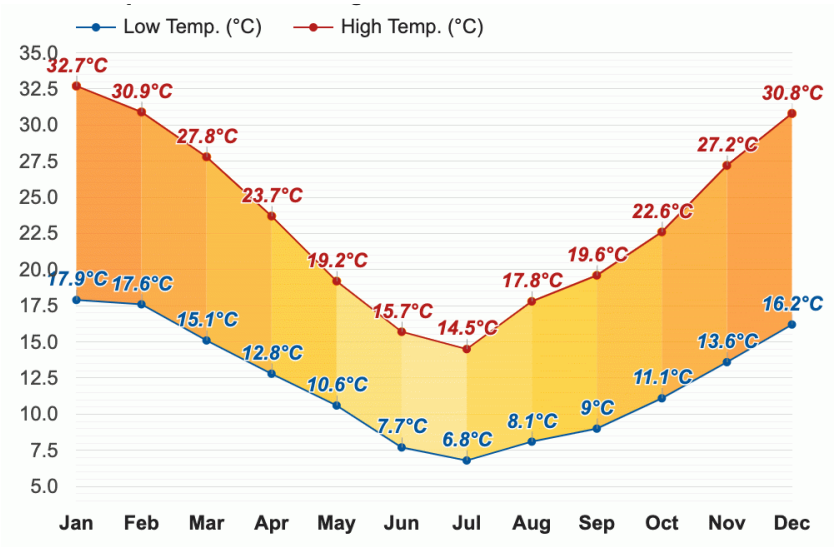


Figura 32. Gráfico de temperatura media mensual. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

El mes más cálido (con el máximo promedio de temperatura alta) es enero (32.7°C). El mes con el promedio de temperatura alta más bajo es julio (14.5°C).

El mes con el promedio de temperatura baja más alto es enero (17.9°C), mientras que el mes más frío (con el promedio de temperatura más bajo) es julio (6.8°C).

La Figura 33 muestra humedad media mensual. El mes con la humedad relativa más alta es mayo (79%), mientras que el mes con la humedad relativa más baja es enero (56%).

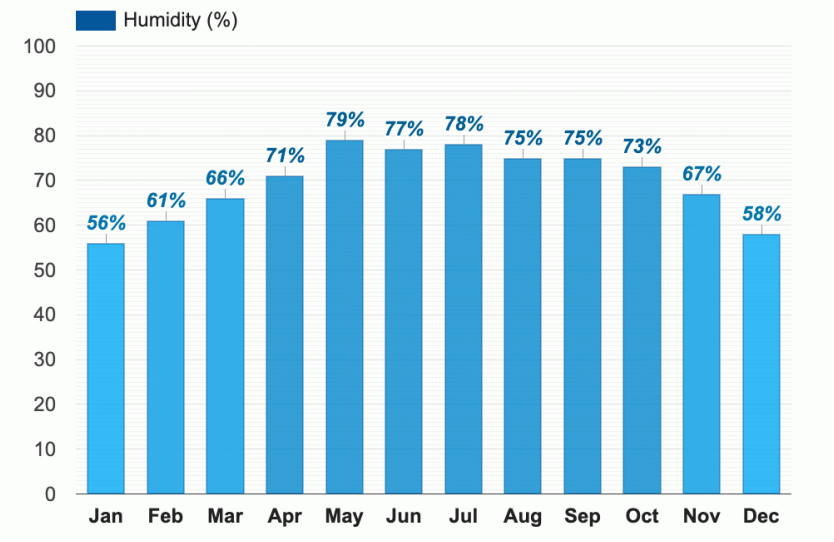


Figura 33. Gráfico de humedad. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

La Figura 34 muestra precipitación media mensual. El mes más húmedo (con la precipitación más alta) es diciembre (78mm), mientras que el mes más seco (con la precipitación más baja) es junio (26mm).

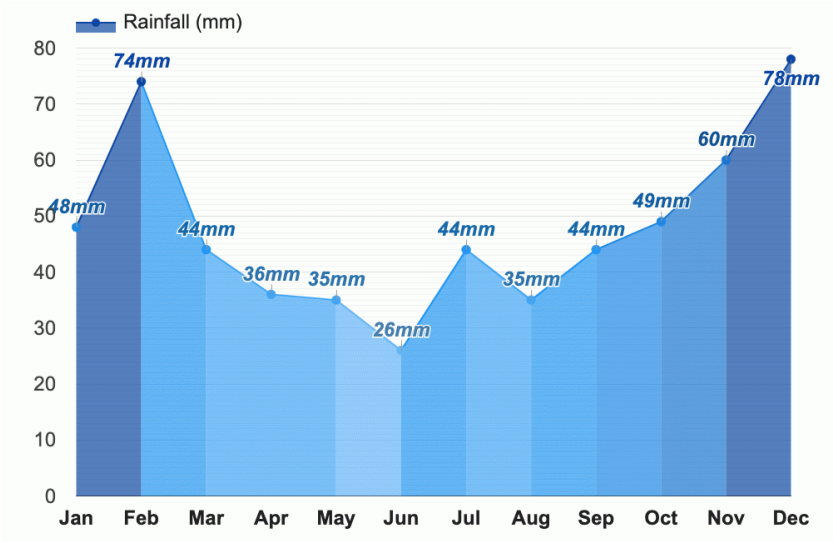


Figura 34. Gráfico de precipitaciones. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

La Figura 35 muestra promedio de días de lluvia mensual. El mes con el número de días lluviosos más alto es octubre (10 días), mientras que los meses con el número de días lluviosos más bajo son junio y agosto (6.8 días).

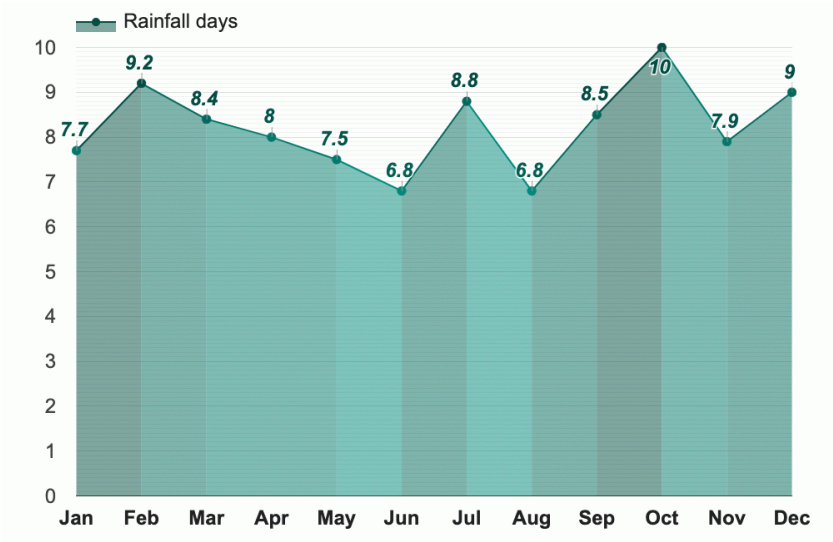


Figura 35. Gráfico de lluvias. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

La Figura 36 muestra la luz diurna media / promedio de insolación.

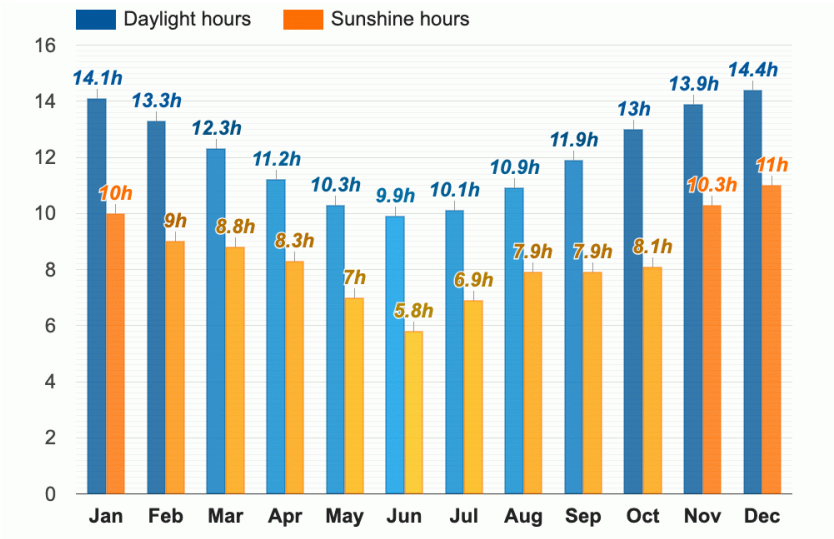


Figura 36. Gráfico de luz. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

El mes con días más largos es diciembre (Luz diurna media: 14.4h), mientras que el mes con días más cortos es junio (Luz diurna media: 9.9h).

El mes con más sol es diciembre (Promedio de insolación: 11h). El mes con menos sol es junio (Promedio de insolación: 5.8h).

La Figura 37 muestra promedio de índice UV. El mes con el índice UV más alto es enero (Índice UV 7), mientras que los meses con el índice UV más bajo son mayo, junio y julio (Índice UV 3).

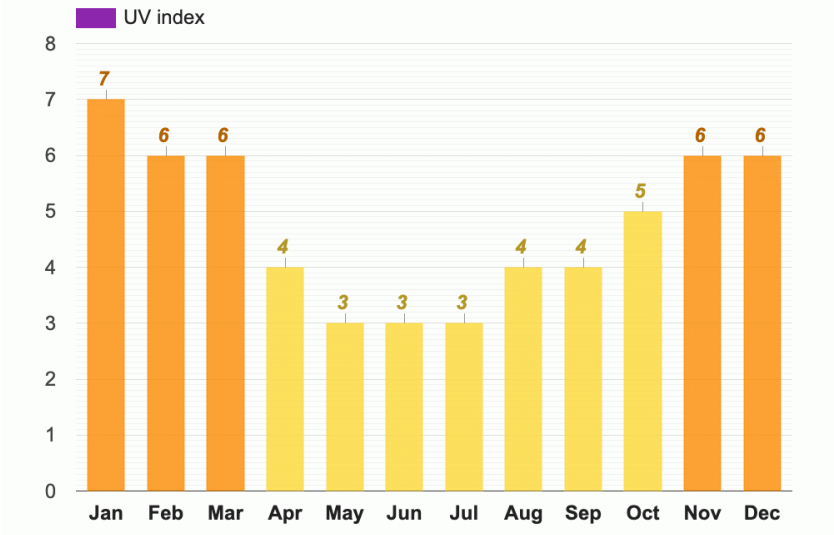


Figura 37. Gráfico de índice UV. Fuente: (Weather Atlas, 2021)

CAPITULO 9

9.1 Configuración del Plan de vuelo

El primer paso a realizar es la configuración del plan de vuelo. La Figura 38 muestra el panel de Inicio de sesión software DroneDeploy.

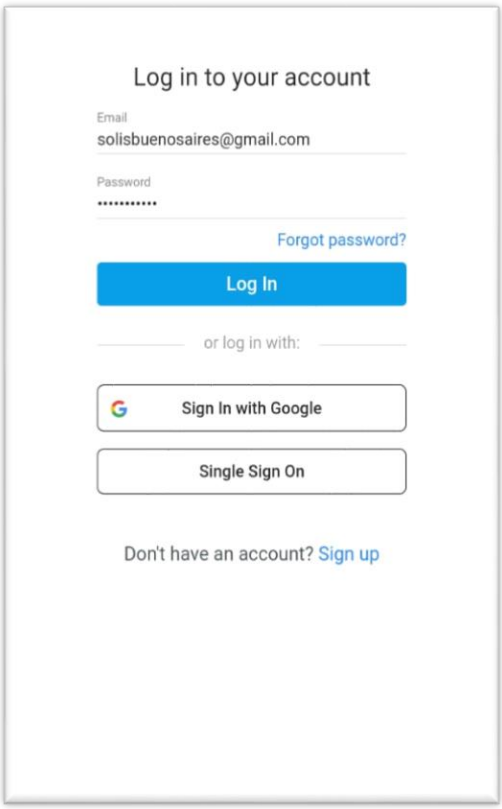


Figura 38. Pantalla principal de DroneDeploy. Captura de pantalla a software DroneDeploy

Se deben ingresar:

- Usuario
- Clave

9.2. Inicio del proyecto

Luego, se procede al inicio del proyecto. La Figura 39 muestra la pantalla principal de software DroneDeploy para la creación del Proyecto.

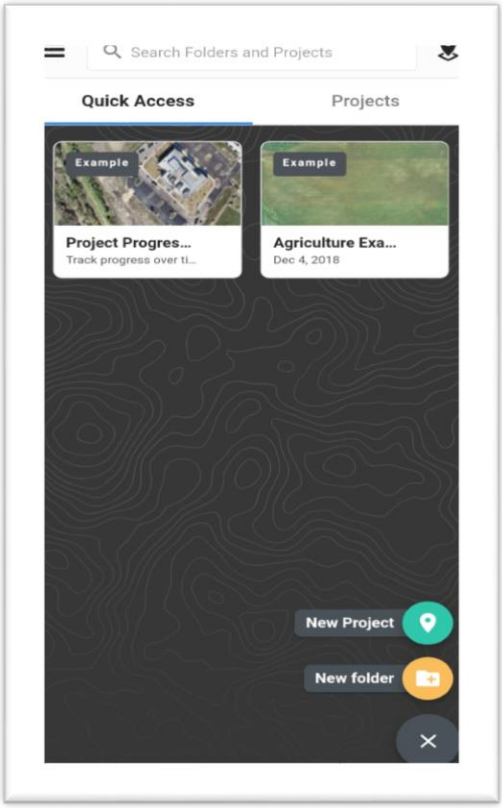


Figura 39. Pantalla de selección de proyecto. Captura de pantalla a software DroneDeploy)

En esta etapa se procede a la selección de:

- Nuevo Proyecto
- Nueva Carpeta

9.3. Configuración de parámetros

Una vez que ya se ha configurado el plan de vuelo y se seleccionó el proyecto, deben ser configurados los parámetros: la Figura 40 muestra la selección del área donde se realizará la misión, configurando los parámetros necesarios, superposición de imágenes, el ángulo de la cámara y la altitud de vuelo.

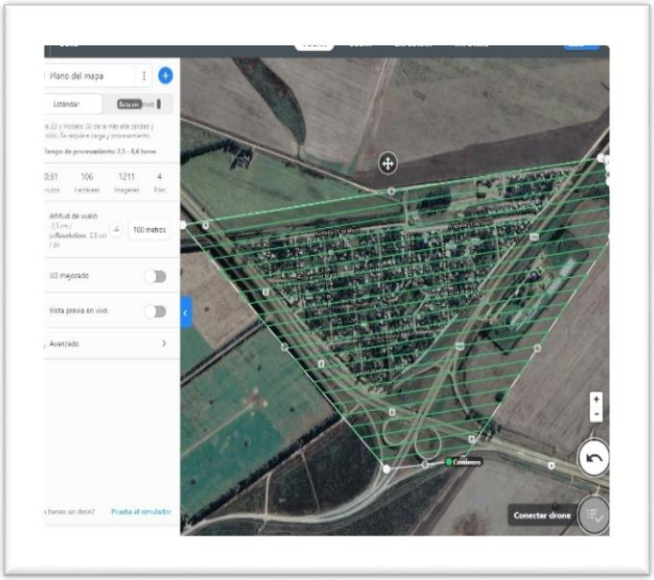


Figura 40. Pantalla de configuración de proyecto. Captura de pantalla a software DroneDeploy)

Deben elegirse los siguientes parámetros:

- Tiempo de vuelo
- Área de trabajo
- Cantidad de imágenes
- Baterías a ser utilizadas
- Altitud del vuelo
- Configuraciones avanzadas

9.4. Configuración de parámetros adicionales

Finalmente, existe la opción de utilizar parámetros adicionales. La Figura 41 muestra los parámetros adicionales de la configuración del proyecto que pueden o no ser modificados.

Figura 41. Pantalla de configuración adicional de proyecto. Captura de pantalla a software DroneDeploy)

- Superposición Frontal
- Superposición Lateral
- Angulo de Inclinación Dirección del Vuelo
- Velocidad del Vuelo
- Punto de Inicio

CAPITULO 10

10.1 Imágenes obtenidas del relevamiento Fotogramétrico de la Localidad de Solís

Según el plan de vuelo planificado, se registran imágenes con una superposición programada previamente. Mientras esto ocurre se puede visualizar en tiempo real toda la información de telemetría, estado del dispositivo y posición del mismo, así como también se puede hacer un seguimiento en tiempo real del Drone.

Las imágenes se guardan en la memoria de almacenamiento de la cámara y tras finalizar el vuelo se realizará en gabinete la descarga de datos para el posterior procesamiento.

Se sobrevoló la zona el 19 de octubre de 2019 a una altitud de 90 m, durante 5 hs. Se obtuvieron 1211 imágenes. La Figura 42 muestra a modo de ejemplo algunas de las imágenes obtenidas y los parámetros necesarios para el procesamiento.

Figura 42. Imágenes y parámetros de las mismas.

10.2 Ingreso y pasos para el procesamiento de datos en pix4D

Registro en la página principal de Pix4D

El primer paso para comenzar con el procesamiento de las imágenes con el software Pix4D es registrarse. La Figura 43 muestra el panel de registro en página de Pix4D.

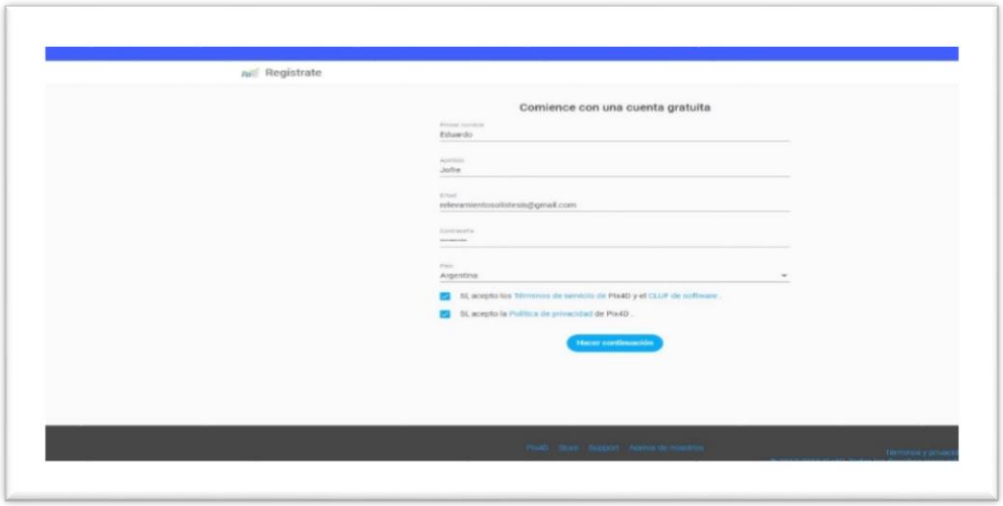


Figura 43. Panel de registro. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

El registro pide:

- Nombre
- Apellido
- Email
- Contraseña

Ingreso al software de Pix4D

Una vez registrado, se accede al panel de ingreso del programa. La Figura 44 muestra el panel de inicio de sesión al software Pix4D.

Figura 44. Panel de registro. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

El Ingreso solicita:

- Usuario
- Clave
- Licencia Disponible

Selección en la pantalla de inicio Nuevo proyecto o Abrir proyecto existente

El próximo paso es la selección del proyecto. La Figura 45 muestra la pantalla principal de Pix4D para la generación del proyecto y procesamiento de las imágenes.

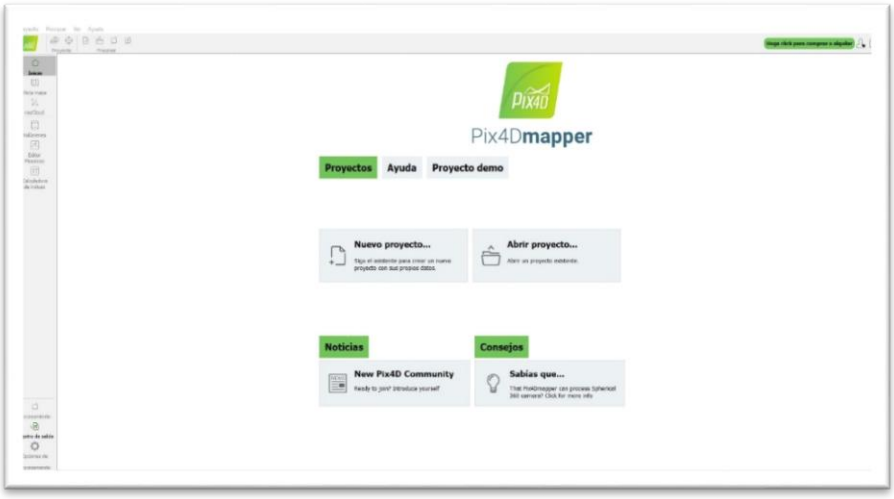


Figura 45. Panel de selección de proyecto. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

El software da la opción de seleccionar:

- Nuevo Proyecto
- Abrir Proyecto existente

Selección de destino de ruta para guardado en explorador de archivos

El siguiente paso es direccionar la carpeta de destino y el nombre del proyecto. La Figura 46 muestra la selección de carpeta.

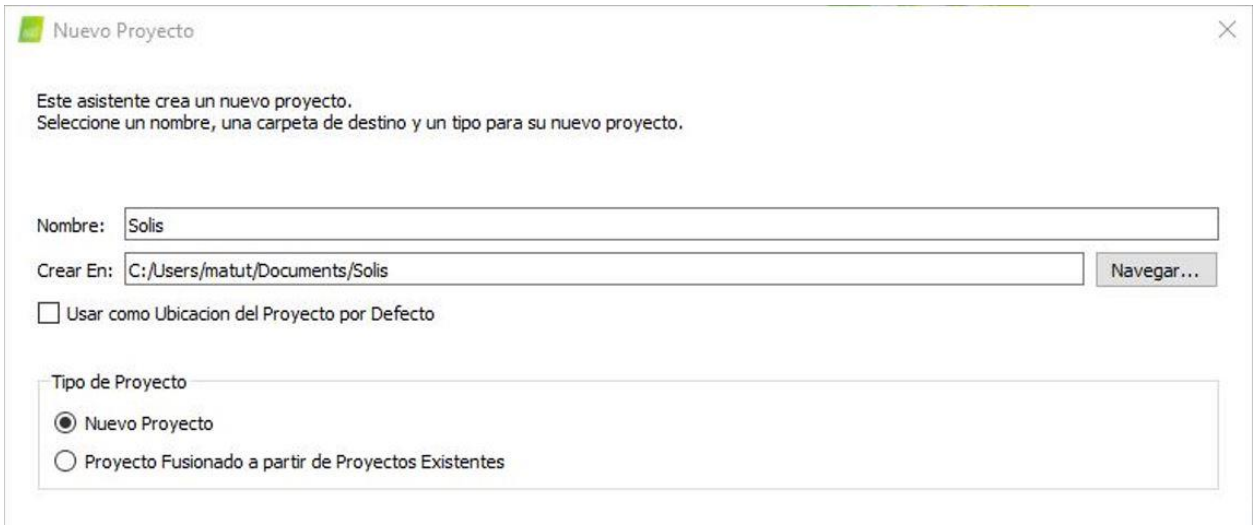
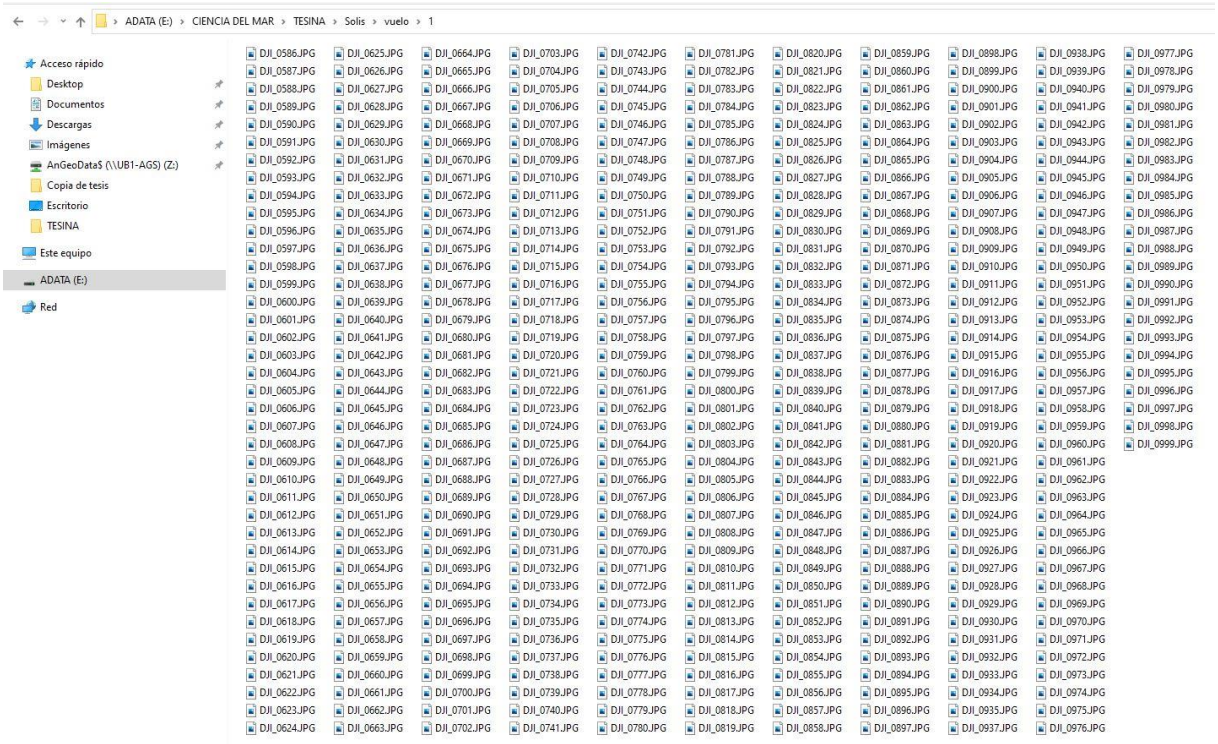


Figura 46. Selección de carpeta. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

Selección de imágenes para iniciar el proyecto

Cargar las imágenes obtenidas con el Drone. Automáticamente al generar el nuevo proyecto, se abre una ventana de diálogo, con el botón “Añadir Imágenes” se eligen las imágenes deseadas desde el archivo. Se seleccionan y agregan las mismas. Figura 47 muestra la selección de imágenes para cargar en el software Pix4D.



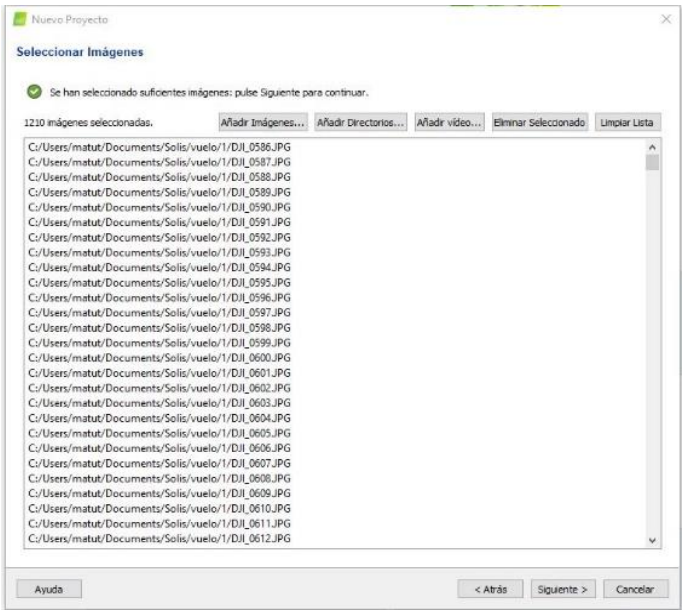


Figura 47. Selección de imágenes. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

Selección de los parámetros de proyección

El programa además detecta automáticamente el sistema de coordenadas y el modelo de cámara, lo cual hay que chequear por si existe alguna diferencia con el vuelo real. Si se debe corregir el sistema de coordenadas o utilizar un modelo geoidal, se debe editar con el botón "editar" y "Opción de coordenadas avanzada". La Figura 48 muestra la selección de proyección, precisión y modelo de cámara.

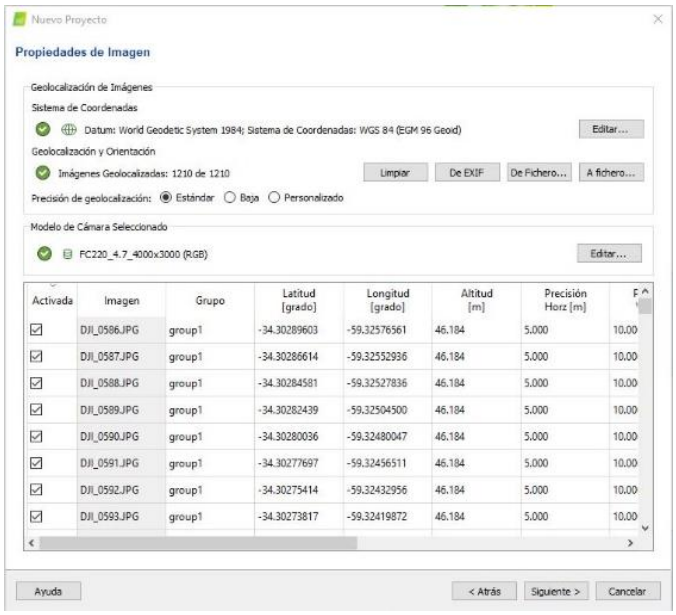


Figura 48. Selección de proyección. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla a software Pix4D)

Selección de las unidades de medida

Una vez, seleccionados los parámetros de la proyección, se procede a la elección de las unidades de medida. La Figura 49 muestra la selección de unidad de medida.

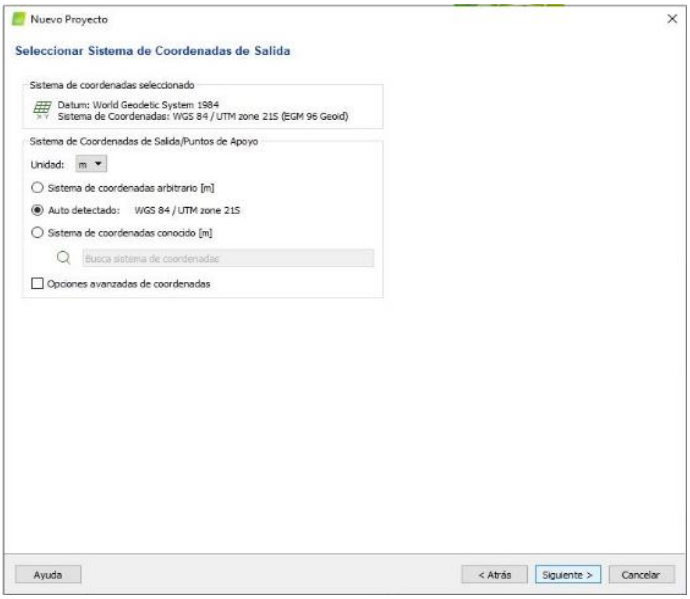


Figura 49. Selección de unidades. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

Tipos de procesamiento

Luego al dar siguiente, el programa dará a elegir "template" de procesamiento, que varía según los productos que se desee adquirir. En este caso, se optó por 3D Maps, ya que proporcionaba nube de puntos y el ortomosaico. La Figura 50 muestra la selección de opciones de procesamiento.

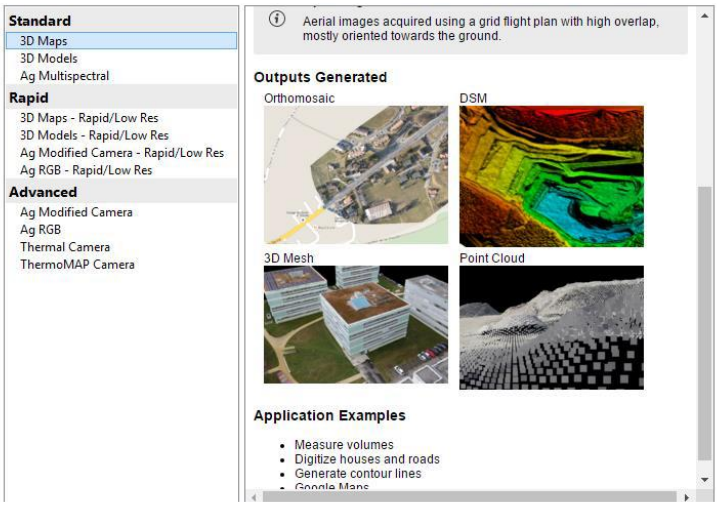


Figura 50. Selección de opciones. Fuente: (elaboración propia en base a captura de pantalla del software Pix4D)

10.3 Inicio del proceso

Se inicia el procesamiento. El mismo está dividido en tres pasos:

a) "Iniciar Procesamiento": Se realiza un ajuste relativo de las fotos, identifica puntos claves iguales en las imágenes y los une. Calibra los parámetros internos de la cámara y los externos como la orientación. De esta manera se logra formar el modelo relativo.

b) "Nube de Puntos y Malla": Se genera la nube de puntos y una malla de triángulos 3D.

c) "DSM, Orthomosaico e índice": Entrega un modelo digital de superficie y un ortomosaico georreferenciado rectificado, eliminando las distorsiones de perspectiva en las fotos.

La Figura 51 muestra las imágenes cargadas con las coordenadas del (Punto Principal), obtenidas de los metadatos de cada imagen.

Figura 51. Selección de imágenes. Captura de pantalla del software Pix4D

El software permite modificar algunos parámetros dentro de cada etapa del proceso como por ejemplo el formato de salida de la nube de puntos, como así también no elaborar todos los productos. La Figura 52 muestra las opciones adicionales en el procesamiento de las imágenes.

- Procesamiento inicial
- Nube de Puntos y Malla
- MDS Ortomosaico e índices
- Recursos y Notificaciones.

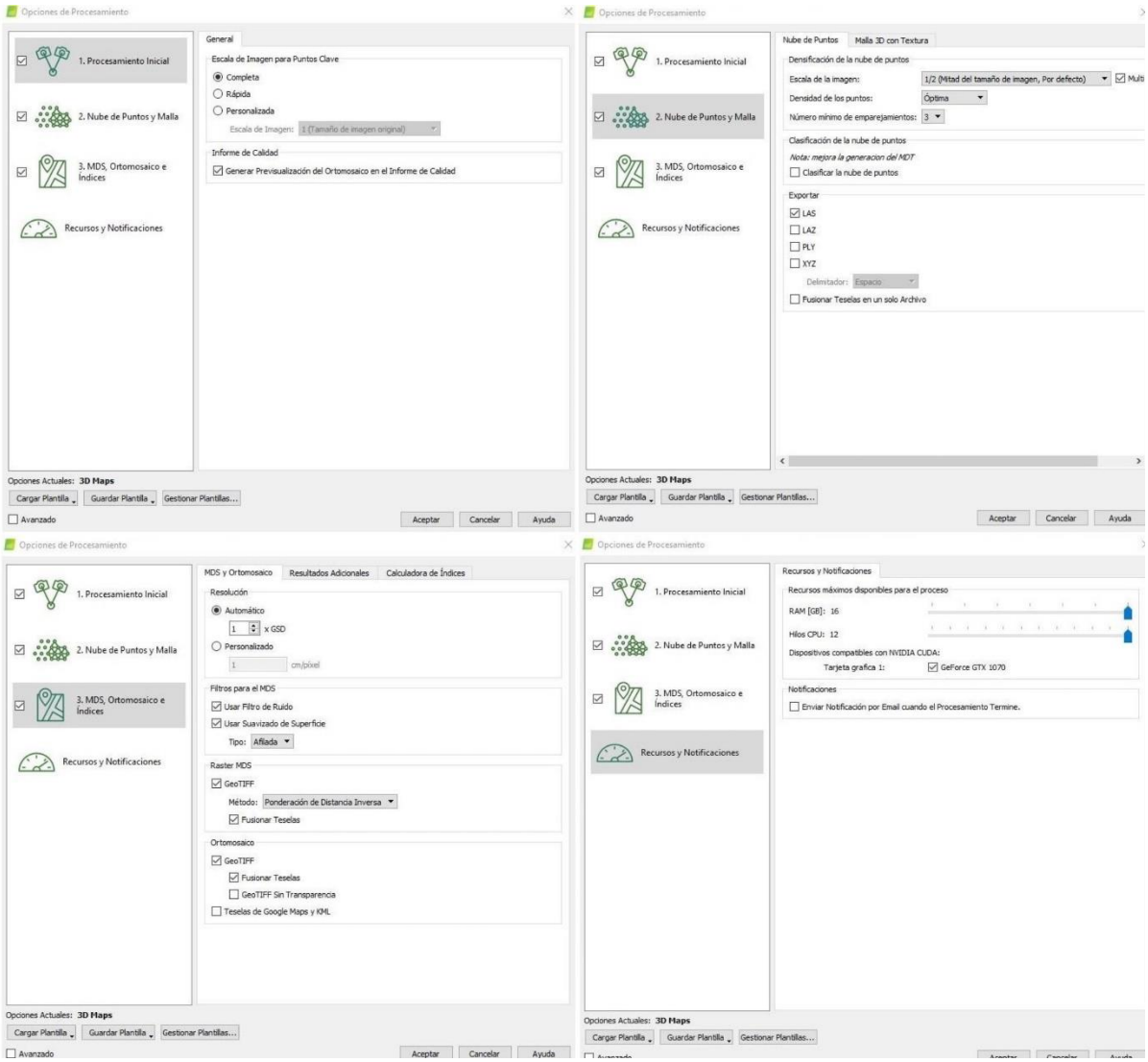


Figura 52. Selección de parámetros adicionales. Captura de pantalla del software Pix4D

Revisado los parámetros necesarios, se tildan las tres etapas desde el “model” y se da comienzo al procesamiento. La Figura 53 muestra las tres etapas del procesamiento.

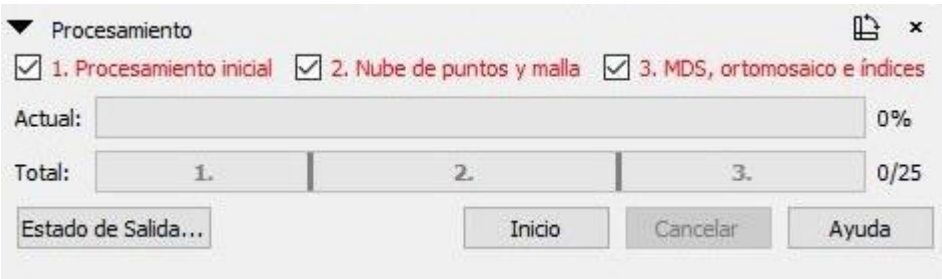


Figura 53. Etapas de Procesamiento. Captura de pantalla del software Pix4D

Automáticamente se genera un informe de calidad sobre el procesamiento

10.4 Informe de calidad

Una vez finalizado el procesamiento de los distintos vuelos en el software Pix4D mapper, genera un documento llamado "Informe de Calidad "con cada paso de dicho procesamiento.

A continuación, se describen algunas partes de ese informe de calidad el ortomosaico y el correspondiente modelo de superficie digital, en donde se cubrió una superficie de 1344 Km^2, las imágenes del vuelo se tomaron a 90m de altura con el Drone DJI Phantom 4 Pro.

Las figuras 54 Y 55 describe el resumen y el control de calidad respectivamente.

Resumen

Proyecto	Solis
Procesada	2019-10-23 21:02:19
Nombre del modelo de la cámara	FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Distancia promedio de muestreo en tierra (GSD)	3.41 cm / 1.34 in
Área cubierta	1.344 km^2 / 134.3752 ha / 0.52 sq. mi. / 332.2201 acres
Tiempo de procesamiento inicial (sin informe)	01h:01m:24s

Figura 54. Resumen, proceso inicial.

Proyecto: nombre del proyecto.

Procesada: fecha de procesamiento en el Pix4Dmapper.

Nombre del modelo de la cámara: nombre de la cámara que se utilizó para tomar las fotos.

Distancia promedio de muestreo en tierra (GSD): es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de la imagen GSD, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles. El GSD está relacionado con la altura del vuelo: cuanto mayor sea la altitud del vuelo mayor será el valor GSD. Por ejemplo: Un GSD de 5 cm significa que un píxel en la imagen representa linealmente 5 cm en el suelo (5 * 5 = 25 centímetros cuadrados).

Área cubierta: corresponde al área cubierta por el proyecto.

Tiempo de procesamiento inicial: tiempo que demoró el programa en realizar el procesamiento inicial "Paso 1".

Control de calidad

Imagenes	mediana de 44304 puntos clave por imagen	✓
Conjunto de datos	1208 de 1210 imágenes calibradas (99%), todas las imágenes habilitadas	✓
Optimización de la cámara	Diferencia relativa del 10,8% entre los parámetros internos iniciales y optimizados de la cámara	⚠
Pareo	mediana de 10229 coincidencias por imagen calibrada	✓
Georreferenciación	sí, no 3D GCP (Punto de control de tierra)	⚠

Figura 55. Control de calidad.

Imágenes: corresponde a la mediana de los puntos claves por imagen. Los puntos claves son puntos característicos que se pueden detectar en las imágenes.

Conjunto de datos: es el número de imágenes habilitadas que se han calibrado, es decir el número de imágenes que se han utilizado para la reconstrucción del modelo. En este caso, el total de imágenes habilitadas calibradas fueron 1208, es decir el 99%.

Optimización de Camera: es la diferencia entre la distancia focal inicial y la optimizada.

Pareo: se corresponde con la mediana de coincidencias por imagen calibrada.

Georreferenciación: muestra si el proyecto está georreferenciado.

La figura 56 describe el avance de Previsualizaciones.

Avance de Previsualizaciones

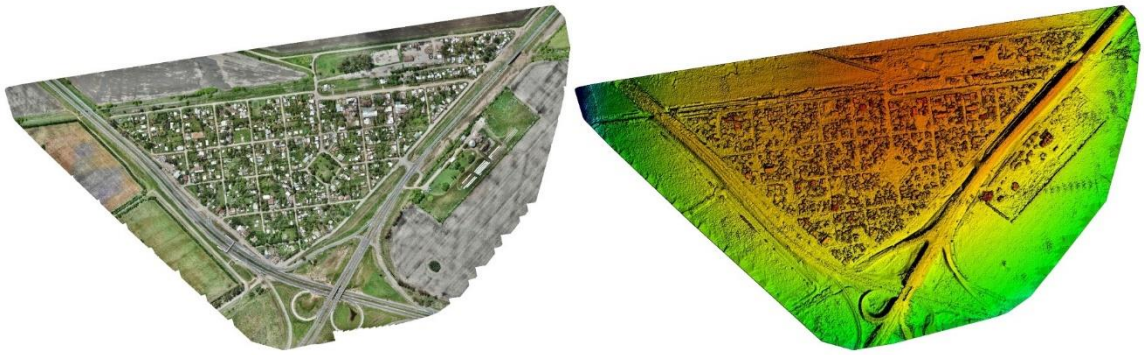


Figura 1: Ortomosaico y el correspondiente modelo de superficie digital dispersa (DSM) antes de la densificación.

Figura 56. Vista previa.

Ortomosaico y modelo de superficie digital (DSM) disperso correspondiente antes de la densificación.

La figura 57 describe detalles de calibración.

Detalles de calibración

Número de imágenes calibradas	1208 de 1210
Número de imágenes geolocalizadas	1210 de 1210

Posiciones de la imagen inicial

Figura 57 Detalle de calibración.

Numero de imágenes calibradas: es decir, el número de imágenes que se han utilizado para la reconstrucción, con respecto al número total de imágenes en el proyecto (imágenes habilitadas y deshabilitadas).

Numero de imágenes geolocalizadas.

La figura 58 describe la posición de las imágenes.

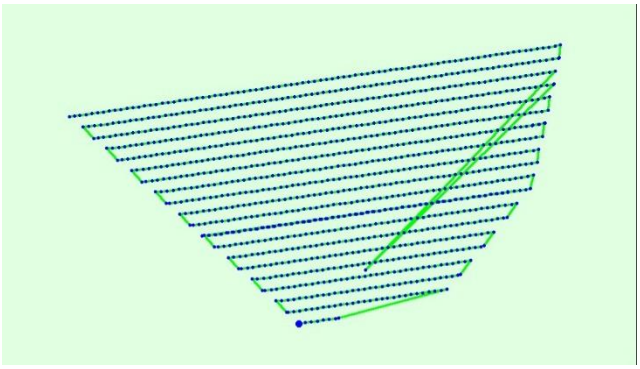


Figura 58. Posiciones iniciales de las imágenes.

Vista superior de la posición inicial de la imagen. La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del punto azul grande.

La figura 59 describe la posición de las imágenes calculadas.

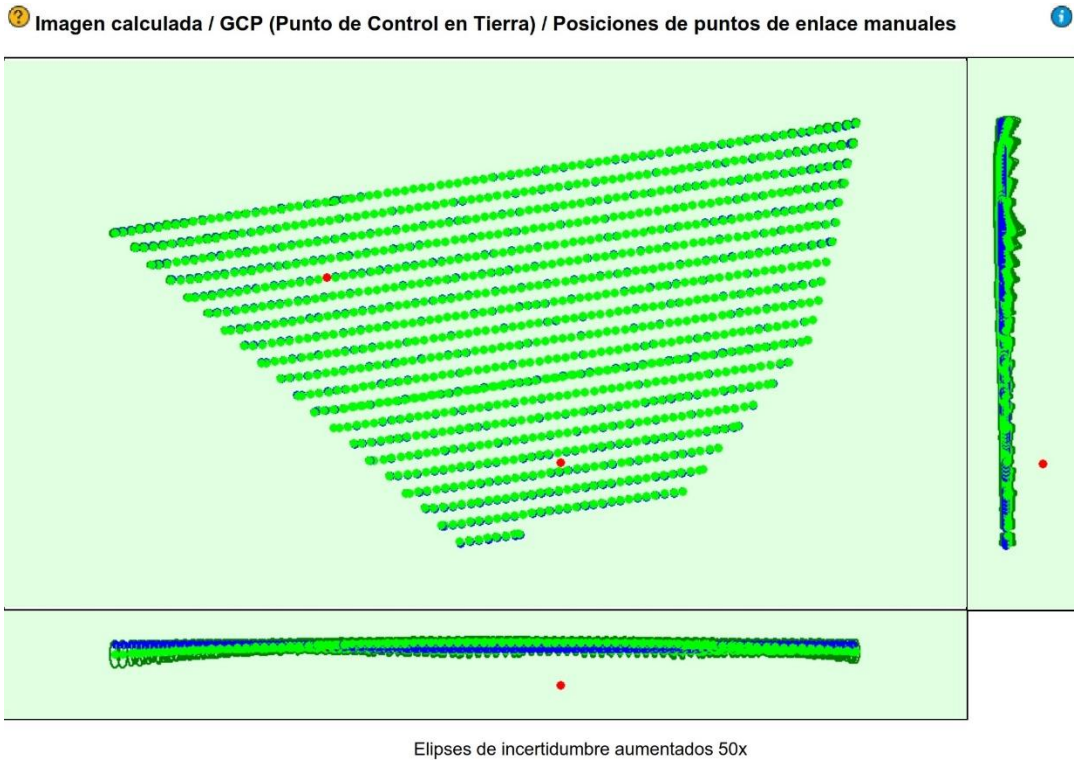


Figura 59. Posiciones de las imágenes calculadas y puntos de apoyo.

Desplazamiento entre las posiciones de imagen iniciales (puntos azules) y calculadas (puntos verdes), así como el desplazamiento entre las posiciones iniciales de GCP (cruces azules) y sus posiciones calculadas (cruces verdes) en la vista superior (plano XY), vista frontal (Plano XZ) y vista lateral (plano YZ). Las elipses de color verde oscuro indican la incertidumbre de posición absoluta (Nx ampliada) del resultado del ajuste del bloque de paquete.

La figura 60 describe la posición absoluta de la cámara.

Incertidumbres absolutas de orientación y posición de la cámara

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Media	0.117	0.115	0.276	0.040	0.041	0.012
Sigma	0.024	0.023	0.067	0.006	0.012	0.002

Figura 60. Posición absoluta de la cámara y errores de orientación.

Media X, Y, Z: Incertidumbre media en la dirección X, Y, Z de las posiciones absolutas de la cámara.

Media Omega, Phi, Kappa: Incertidumbre media en el ángulo de orientación omega, phi, kappa de las posiciones absolutas de la cámara.

La figura 61 describe el solapamiento.

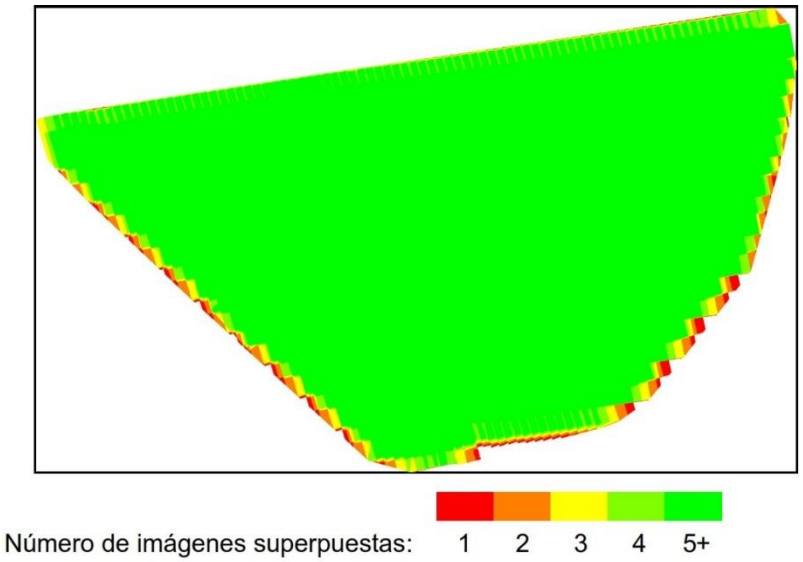


Figura 61. Solapamiento.

En esta imagen, se puede apreciar la cantidad de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico. El color rojo y amarillo, indican una baja superposición lo que se traduce en malos resultados. Mientras que el color verde indica una buena superposición, es decir más de 5 imágenes por cada píxel.

La figura 62describe los detalles de ajuste.

Detalles de Ajuste del Bloque de Paquetes

Número de observaciones de puntos clave 2D para el ajuste del bloque de paquetes	13373357
Número de puntos 3D para el ajuste del bloque de paquetes	4727730
Error medio de reproyección [píxeles]	0.206

Figura 62. Detalle de ajuste del bloque.

Número de observaciones de puntos clave 2D para el ajuste del bloque de paquetes: Corresponde al número de todos los puntos clave (puntos característicos) que podrían coincidir en al menos dos imágenes.

Número de puntos 3D para el ajuste del bloque de paquetes: El número de todos los puntos 3D que se han generado al hacer coincidir los puntos 2D en las imágenes.

Error medio de re proyecciones (pixeles): El promedio del error de re proyección en píxeles. Cada punto 3D calculado se detectó inicialmente en las imágenes (punto clave 2D). En cada imagen, el punto clave 2D detectado tiene una posición específica. Cuando el punto 3D calculado se proyecta de nuevo a las imágenes, tiene una posición re- proyectada. La distancia entre la posición inicial y la re-proyectada da el error de re-proyección.

La figura 63 describe los parámetros internos de la cámara.

Parámetros internos de la cámara

FC220_4.7_4000x3000 (RGB). Dimensiones del sensor: 6.327 [mm] x 4.745 [mm]

EXIF ID: FC220_4.7_4000x3000

	Distancia Focal	Punto Principal x	Punto Pricipal y	R1	R2	R3	T1	T2
Valores Iniciales	3073.410 [pixel] 4.861 [mm]	1917.790 [pixel] 3.033 [mm]	1485.800 [pixel] 2.350 [mm]	0.033	-0.086	0.078	0.000	-0.001
Valores Optimizados	2741.452 [pixel] 4.336 [mm]	2004.446 [pixel] 3.170 [mm]	1539.499 [pixel] 2.435 [mm]	0.028	-0.044	0.032	-0.000	0.000
Incertidumbres (Sigma)	6.972 [pixel] 0.011 [mm]	0.216 [pixel] 0.000 [mm]	1.159 [pixel] 0.002 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000

Figura 63. Parámetros internos de la cámara.

Valores Iniciales: son los valores iniciales del modelo de cámara.

Valores Optimizados: son los valores optimizados que se calculan a partir de la calibración de la cámara y que se utilizan para el procesamiento.

Incertidumbres (sigma): corresponde a la sigma de las incertidumbres de la distancia focal, el punto principal X, el punto principal Y, las distorsiones radiales R1, R2 y las distorsiones tangenciales T1, T2.

Distancia Focal: es la distancia focal de la cámara en píxeles y en milímetros.

Punto Principal x: es la coordenada de la imagen x del punto principal en píxeles y en milímetros. El punto principal se encuentra alrededor del centro de la imagen.

Punto Principal y: es la coordenada de la imagen y del punto principal en píxeles y en milímetros. El punto principal se encuentra alrededor del centro de la imagen.

La figura 64 describe el sistema de coordenadas.

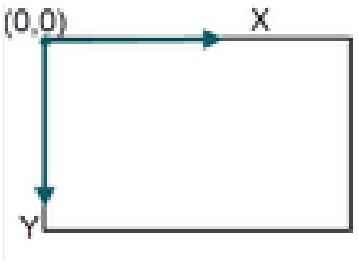


Figura 64. Sistema de coordenadas x, y.

R1, R2, R3: son las distorsiones radiales de la lente en R1, R2 y R3 respectivamente.

T1, T2: son las distorsiones tangenciales de la lente en T1 y T2 respectivamente.

La figura 65 describe la tabla de puntos clave 2D.

Tabla de puntos clave 2D

	Número de puntos clave 2D por imagen	Número de puntos clave 2D coincidentes por imagen
Mediana	44304	10229
Minimo	26971	552
Maximo	73999	32269
Media	44363	11071

Figura 65 Tabla de puntos clave 2D.

Número de puntos clave 2D por imagen: número de puntos clave 2D por imagen.

Número de puntos clave 2D coincidentes por imagen: corresponde al número de puntos clave 2D coincidentes por imagen. Un punto coincidente es un punto característico que inicialmente se ha detectado en al menos dos imágenes y se ha identificado como el mismo punto característico.

Mediana: es la mediana de los puntos claves mencionados anteriormente.

Mínimo: número mínimo de puntos clave.

Máximo: número máximo de puntos clave.

Media: es el promedio de los puntos clave.

La figura 66 describe la tabla de puntos 3D que coinciden con los 2D

Puntos 3D a partir de coincidencias de puntos clave 2D

	Número de puntos 3D observados
In 2 Images	2976691
In 3 Images	877069
In 4 Images	400707
In 5 Images	191551
In 6 Images	93872
In 7 Images	62060
In 8 Images	43451
In 9 Images	29564
In 10 Images	19125
In 11 Images	10916
In 12 Images	8071
In 13 Images	6018
In 14 Images	4048
In 15 Images	2323
In 16 Images	856
In 17 Images	616
In 18 Images	425
In 19 Images	249
In 20 Images	107
In 21 Images	11

Figura 66. Tabla de puntos 3D con coincidencias de puntos clave 2D.

Cada punto 3D se genera a partir de puntos clave que se han observado en al menos dos imágenes. Cada fila de esta tabla muestra el número de puntos 3D que se han observado cuanto mayor sea el número de imagen en el que un punto 3D es visible, mayor será su precisión.

La figura 67 describe la vista superior de los puntos 2D.

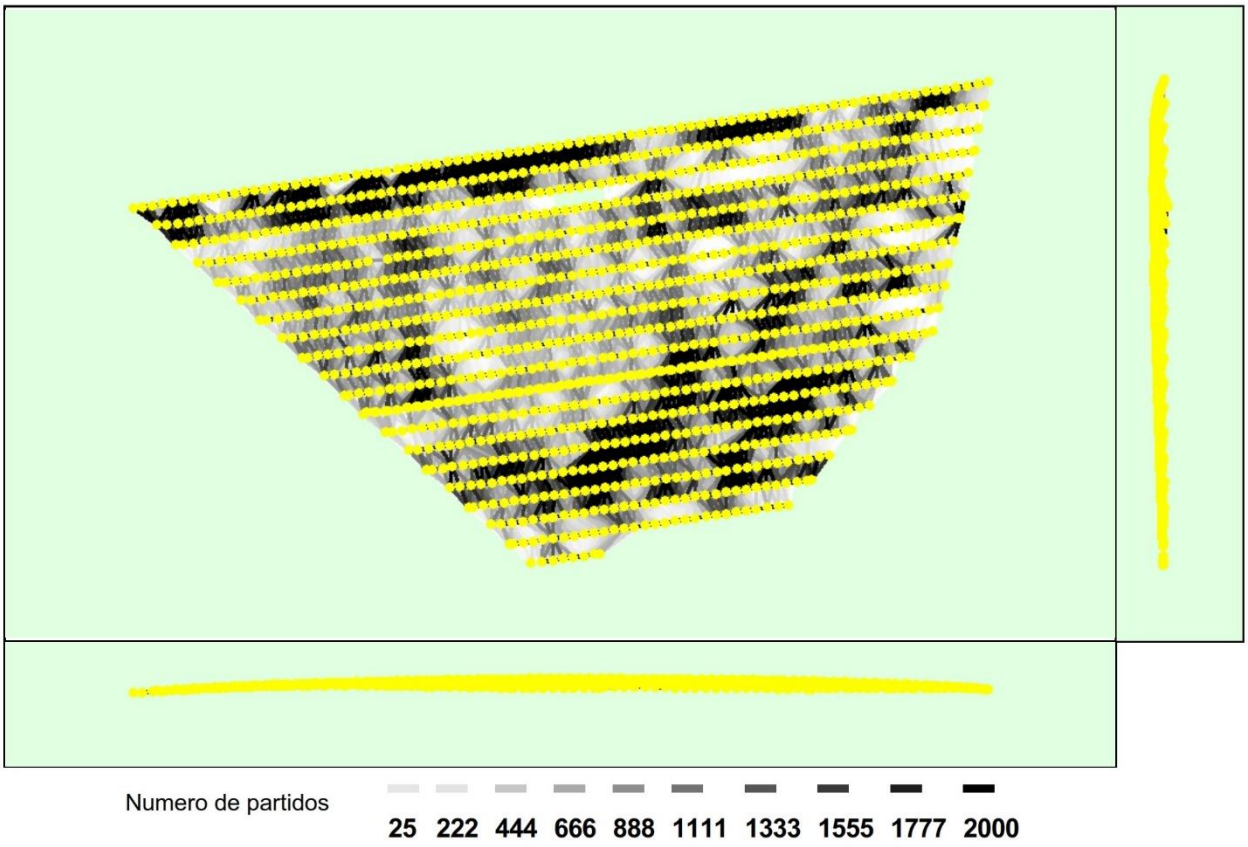


Figura 67. Vista superior de puntos clave 2D.

Vista superior de las posiciones calculadas de la imagen con un enlace entre imágenes coincidentes. La oscuridad de los enlaces indica el número de puntos clave 2D coincidentes entre las imágenes. Los enlaces brillantes indican enlaces débiles y requieren puntos de amarre manuales o más imágenes.

La figura 68 describe los detalles de geolocalización.

Detalles de geolocalización

Varianza de geolocalización absoluta

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocalizacion Error X [%]	Geolocalizacion Error Y [%]	Geolocalizacion Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	9.35
-6.00	-3.00	1.08	0.33	24.42
-3.00	0.00	43.87	39.74	22.35
0.00	3.00	55.05	59.93	17.72
3.00	6.00	0.00	0.00	13.91
6.00	9.00	0.00	0.00	6.79
9.00	12.00	0.00	0.00	2.57
12.00	15.00	0.00	0.00	1.24
15.00	-	0.00	0.00	1.66
Mean [m]		0.000000	0.000000	0.000000
Sigma [m]		0.855328	0.862581	5.246761
RMS Error [m]		0.855328	0.862581	5.246761

Figura 68. Varianza absoluta de la geolocalización.

Min error (m) y Max error (m): representan intervalos de error de geolocalización entre -1.5 y 1.5 veces la precisión máxima de todas las imágenes.

Geolocalización error X, Y, Z: muestran el porcentaje de imágenes con errores de geolocalización dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las geolocalizaciones iniciales de la cámara y sus posiciones calculadas.

Mean (m): corresponde al promedio del error en cada dirección.

Sigma (m): es la desviación estándar del error en cada dirección.

RMS Error (m): error cuadrático medio en cada dirección X, Y, Z.

La figura 69 describe la geolocalización relativa.

Error de geolocalización relativo	Imagenes X [%]	Imagenes Y [%]	Imagenes Z [%]
[-1.00, 1.00]	99.92	100.00	95.78
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	99.59
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Precisión Media de geolocalización [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Precisión Sigma de geolocalización [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 69. Variación de geolocalización relativa.

Error de geolocalización relativo: representan el porcentaje de imágenes con un error de geolocalización relativo en X, Y, Z.

Un error de geolocalización que se encuentra entre -1 y 1, -2 y 2, -3 y 3.

Este error se calcula de la siguiente manera:

$$RX=(Xi-Xi)\ /Ax$$

$$RY=(Yi-Yc)\ /Ay$$

$$RZ=(Zi-Zc)\ /Az$$

Dónde:

$$RX, RY, RZ = error\ relativo\ en\ geolocalización\ en\ X, Y, Z.$$

$$Xi, Yi, Zi = posición\ inicial\ de\ la\ imagen\ en\ X, Y, Z\ (posición\ Gnss)$$

$$Xc, Yc, Zc = posición\ de\ la\ imagen\ calculada\ en\ X, Y, Z.$$

$$Ax, Ay, Az = precisión\ de\ geolocalización\ de\ la\ imagen\ en\ X, Y, Z.$$

El interés es saber si el error de geolocalización se comporta con una distribución Gaussiana. Esto es:

El 68,2% de las imágenes geolocalizadas y calibradas deben tener un error de geolocalización relativo en X, Y, Z entre -1 y 1.

El 95.4% de las imágenes geolocalizadas y calibradas deben tener un error relativo de geolocalización en X, Y, Z entre -2 y 2.

El 99,6% de las imágenes geolocalizadas y calibradas deben tener un error de geolocalización relativo en X, Y, Z entre -3 y 3.

La figura 70 describe las opciones de procesamiento.

Opciones de procesamiento

Escala de imagen	multiescala, 1/2 (Tamaño de imagen medio, predeterminado)
Densidad puntual	Óptima
Número mínimo de partidos	3
Generación de malla texturizada 3D	Si
Configuración de malla con textura 3D:	Resolución: Resolución media (predeterminada) Equilibrio de color: no
LOD	Generado: no
Avanzado: configuración de malla con textura 3D	Divisor de densidad de muestra: 1
Avanzado: Grupos de imágenes	Grupo 1

Avanzado: usar el área de procesamiento	Advanced: Use
Anotaciones	si
Tiempo para la densificación de la nube de puntos	02h:48m:13s
Tiempo para la clasificación de la nube de puntos	NA
Tiempo para la generación de mallas texturizadas 3D	01h:07m:03s

Resultados

Número de clústers procesados	5
Número de mosaicos generados	6
Número de puntos densificados 3D	7457917
Densidad media (por m^3)	90.67

Figura 70. Opciones y resultados del procesamiento.

Escala de Imagen: utilizada para la densificación de nubes de puntos

Densidad Puntual: densidad de puntos de la nube de puntos densificada.

Número mínimo de partidos: el número mínimo de coincidencias por punto 3D representa el número mínimo de reproyecciones válidas de este punto 3D en las imágenes. Puede ser 2 a 6.

Tiempo para la densificación de la nube de puntos: tiempo que le llevó generar la nube de puntos.

Numero de clústers procesados: muestra el número de clústers generados.

Numero de mosaicos generados: número de mosaicos generados para la nube de puntos.

Número de puntos 3d densificados: número total de puntos 3D generados para el proyecto.

Densidad Media (m3): número promedio de puntos 3D densificados obtenidos para el proyecto por metro cúbico.

10.5 Primera parte del procesamiento

El procesamiento inicia con los pasos 1 y 2 indicados por software, a continuación, genera las posiciones de las cámaras y los haces de rayos. La nube de puntos homologo luego procederá a ser densificada. La Figura 71 muestra la ubicación de las imágenes con las coordenadas de los metadatos, al momento de cada toma.

El software indica:

- Ubicación de la cámara finalizada.
- Haces de rayos homólogos finalizado.
- Puntos de Paso, Automático.
- Nube de Puntos finalizada.
- Malla de Triángulos finalizada.

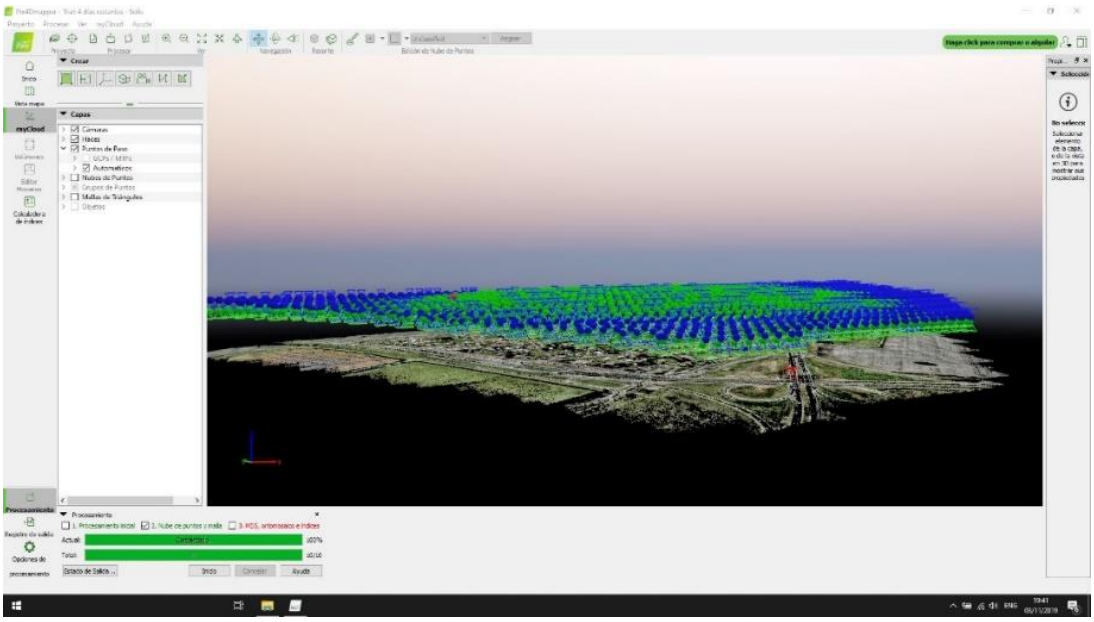


Figura 71. Ubicación de imágenes

CAPITULO 11

Datos obtenidos del procesamiento fotogramétrico

11.1 Nube de Puntos Densa

Las imágenes adquiridas con el equipo Phantom 4 Pro V2.0, se procesaron mediante la utilización del software Pix4D, realizando una serie de paso para generar los distintos datos planimétricos y altimétricos los cuales sirven como base para productos cartográficos.

El siguiente paso consiste en la construcción de una nube de puntos densa utilizando el comando necesario, a partir de las posiciones estimadas de la cámara y las propias fotos. La Figura 72 muestra la ubicación de las imágenes y la nube de puntos densa generada a partir de los puntos en común entre cada una de las tomas.

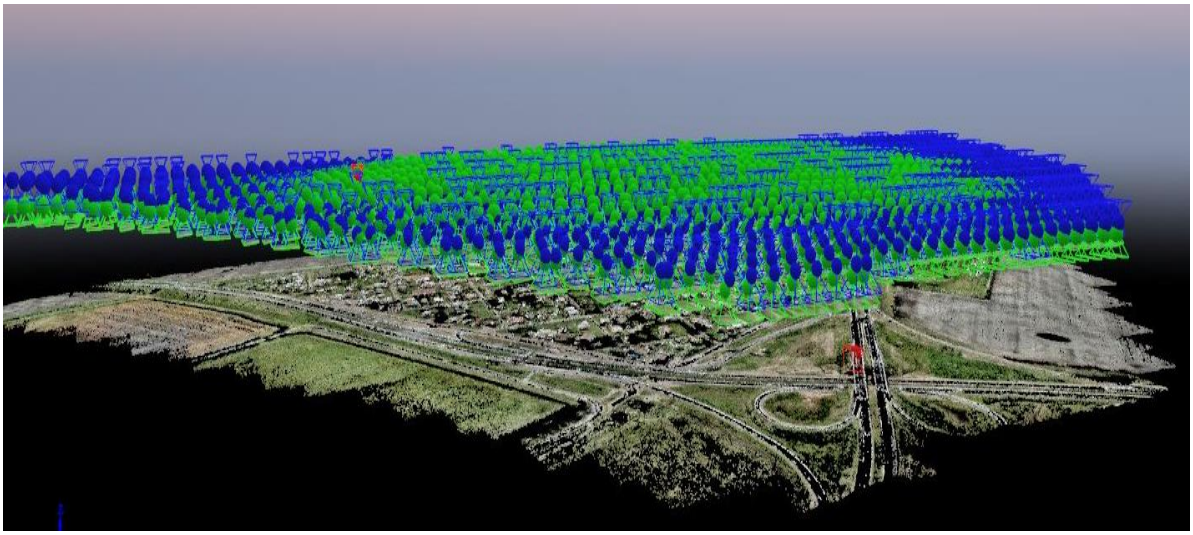


Figura 72: Nube de puntos generada

11.2 Malla Poligonal 3D

Posteriormente a la obtención de la nube de puntos, se debe generar la malla poligonal 3D, representando la superficie del objeto en tres dimensiones. La Figura 73 muestra la malla poligonal 3D obtenida.

Figura 73. Malla poligonal 3D

11.3 Modelo digital de superficie

Luego de la densificación se procedió a la elaboración del modelo digital de superficie (Digital Surface Model, DSM) en el cual se observan cada uno de los valores de altura. La Figura 74 muestra una representación 2D de modelo digital de superficie en formato de raster.

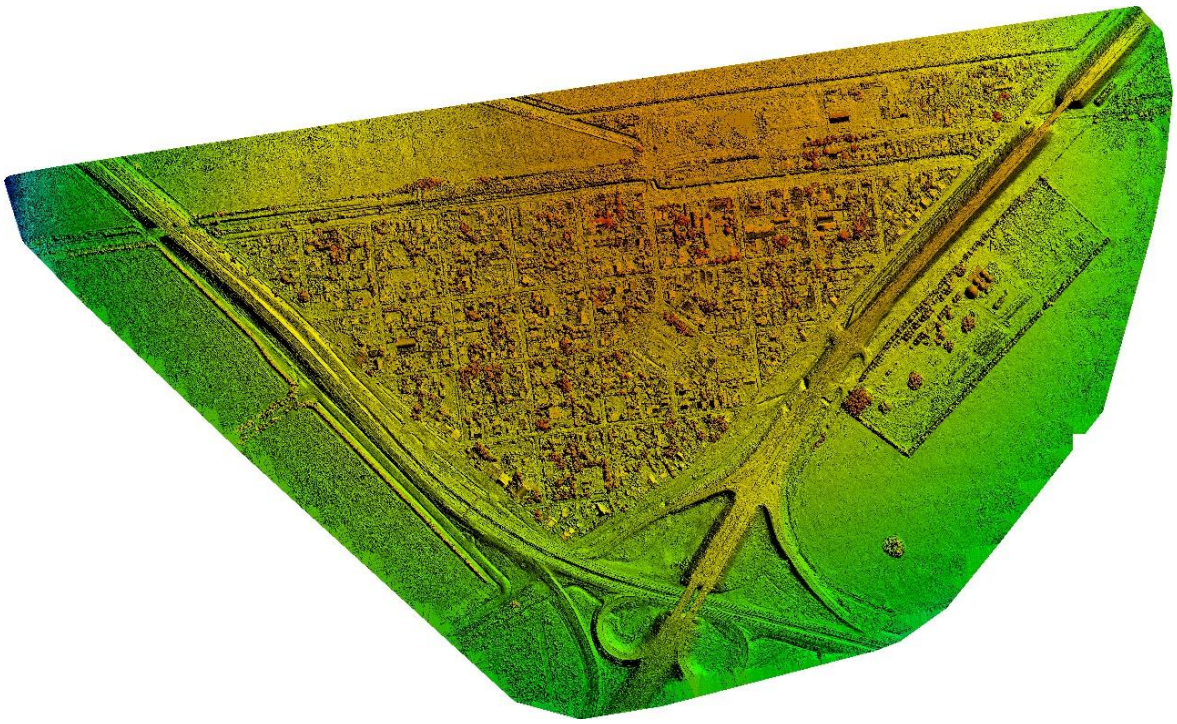


Figura 74. Representación 2D de modelo digital de superficie (DSM)

11.4 Mosaico de Ortofotos

Por último, se genera un mosaico fotogramétrico, realizando los procesos de orto rectificación, donde se proyectaron ortogonalmente los rasgos homólogos de las imágenes y se corrigieron los desplazamientos.

Se creó el mosaico, formando un solo producto que agrupa las (1211 Imágenes) obtenidas del relevamiento Fotogramétrico de la Localidad de Solís de alta resolución de 0,5 cm por pixel. La Figura 75 muestra Mosaico de Ortofotos en formato de raster.

Figura 75. Representación del Mosaico de Ortofotos

11.5 Curvas de Nivel

Mediante software ArcMap (ArcGIS) y valiéndonos del modelo digital de superficie obtenido se procedió a generar las curvas de nivel con una equidistancia de 2 metros.

Cada curva lleva en sus atributos un número que representa la altura (cota). Las curvas de nivel son utilizadas en cartografía para representar las alturas de la superficie en la cual se pueden apreciar los datos planimétricos y altimétricos. La Figura 76 muestra el vector de curvas de formato de raster.

Figura 76. Representación de las curvas de nivel.

11.6 Delimitación poligonal de zona urbana

Dentro de ArcMap y con el Mosaico de Ortofotos, obtenido en el procesamiento, se procedió a vectorizar las manzanas que conforman el casco urbano de la localidad de Solís. En el panel Crear entidades se encuentran las plantillas de entidad para capas de polígonos que incluye herramientas de construcción para crear entidades poligonales de una parte simple y multi partes. La herramienta Polígono crea polígonos con varios segmentos. La Figura 77 muestra el vector de los polígonos en formato de raster.

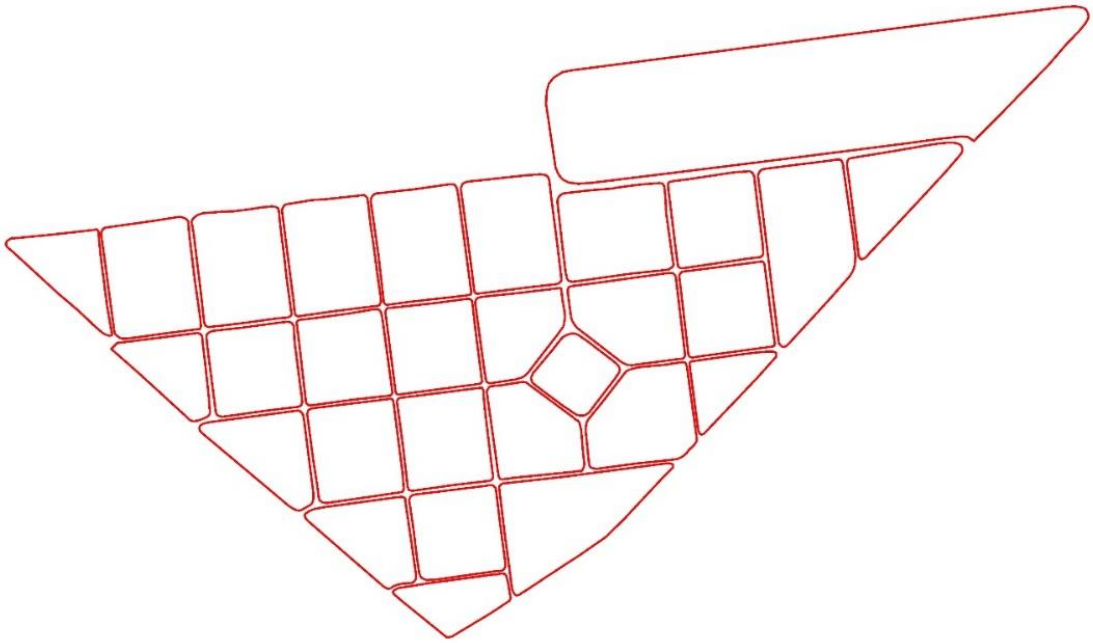


Figura 77. Polígonos de la localidad de Solís

CAPITULO 12

Productos obtenidos desde el Análisis de los datos del procesamiento fotogramétrico

12.1 Cuenca Visual

Se realizó la cuenca visual desde un punto de observador para el análisis de visibilidad ubicado en el cetro de la plaza principal de Solís. La herramienta de análisis de cuenca visual es útil cuando se desea saber cuán visibles pueden ser los objetos. Por ejemplo, desde qué ubicaciones del paisaje serán visibles torres de agua si se colocan en una ubicación en particular. La Figura 78 muestra la sombra ocasionada por los obstáculos de observación en formato de raster.

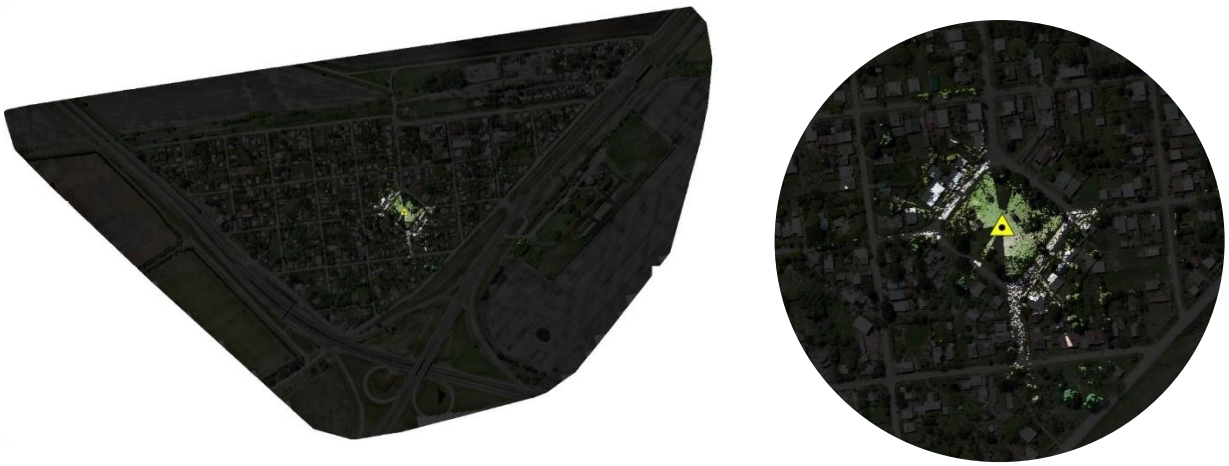


Figura 78. Cuenca Visual. La imagen de la izquierda muestra la sombra provocada por dodos los obstáculos en el total de ortomosaico, en la imagen de la derecha observamos un zoom del área que es visible desde el punto del observador.

12.2 Simulación de zonas afectadas por posible inundación

Para realizar la simulación se utilizó el Modelo Digital de Superficie (MSD), la Ortofoto obtenido en el procesamiento y un polígono determinado. La simulación muestra cuáles serían las zonas afectadas en caso de producirse una inundación. Aunque solamente es de forma visual, esto permite tener una idea general de cómo afectaría dicho evento en el centro poblado de la localidad. Las Figuras 79, 80, 81 y 82 muestran la zona afectada por 10 m, 20 m, 30 m y 40 m respectivamente de acumulación de agua.

Figura 79. Zona afectada por 10 m de acumulación de agua.

Figura 80. Zona afectada por 20 m de acumulación de agua

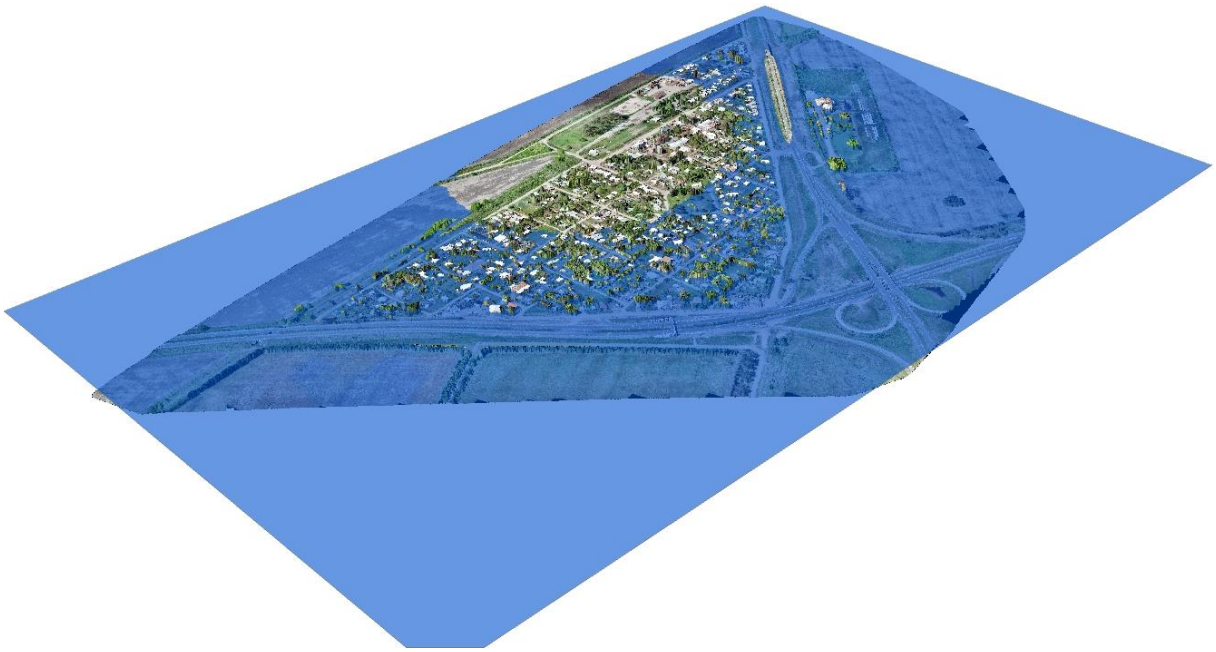


Figura 81. Zona afectada por 30 m de acumulación de agua

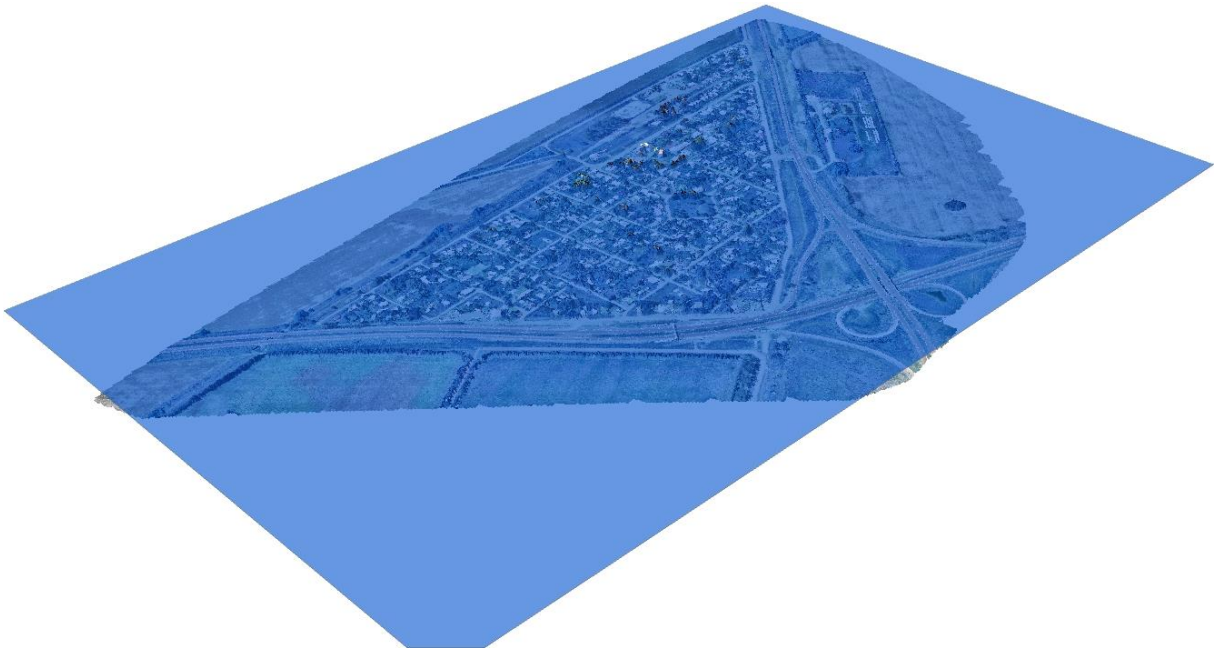


Figura 82. Zona afectada por 40 m de acumulación de agua.

12.3 Carta de Imagen

Mediante la utilización del software ArcMap, y con el mosaico obtenido en el procesamiento se realizó una carta de imagen del área que cubre el casco urbano de la ciudad de Solís a una Escala de 1:1.500.

Se incorporaron vectores puntuales y lineales de lugares de interés y de la red vial. La Figura 83 muestra la carta de imagen obtenida.

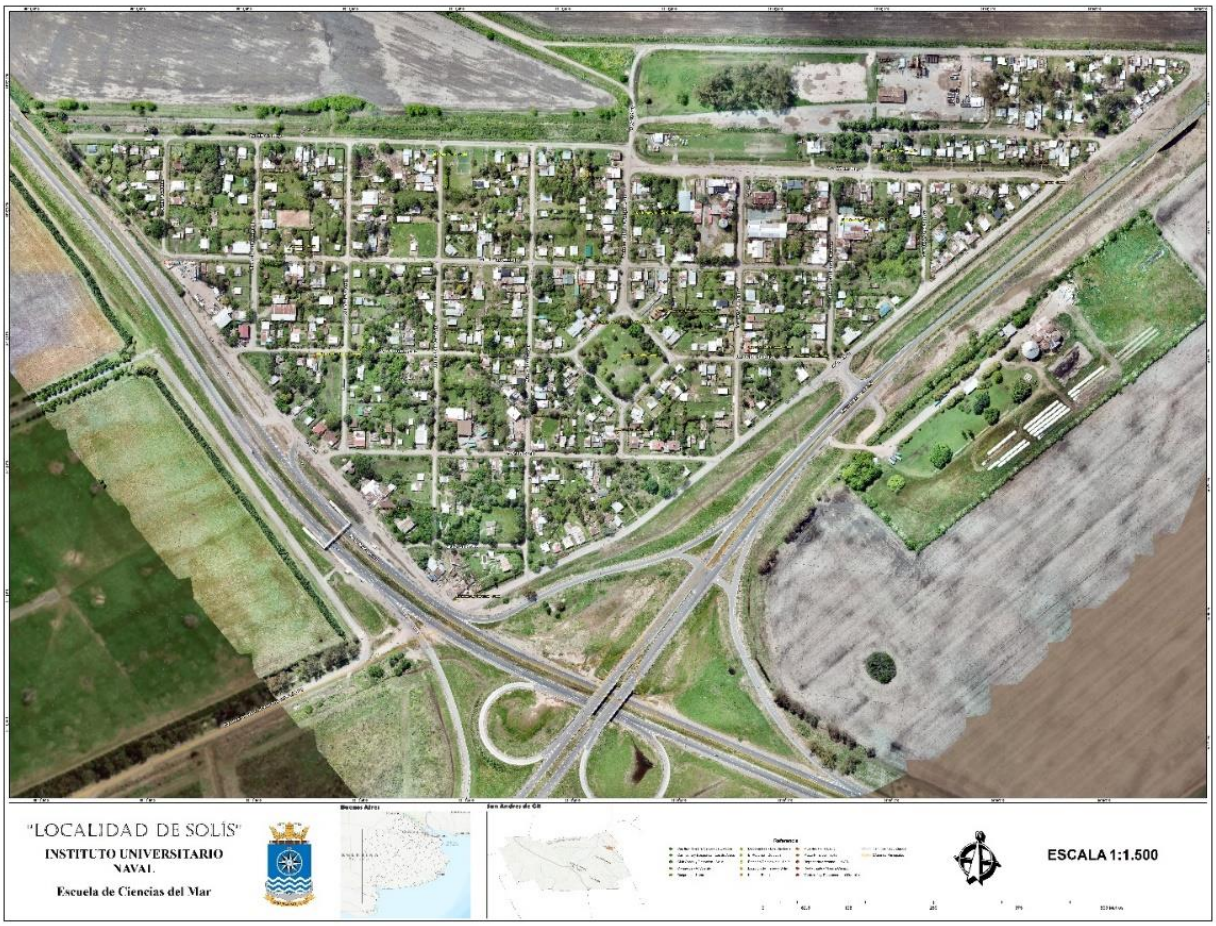


Figura 83. Carta de imagen exportada en formato JPG, del software ArcMap

CAPITULO 13

Conclusiones

La tecnología de los vehículos aéreos no tripulados o Drones que comenzó siendo una herramienta para fines militares, es en la actualidad ampliamente utilizada en desarrollos civiles y comerciales. Se destaca su uso en la detección de incendios forestales, mapeo de cobertura de suelo, generación de cartografía digital, inventario de recursos naturales etc. Esta metodología permite generar mosaicos derivados de técnicas fotogramétricas con rapidez y precisión, construir una orientación relativa de un bloque de imagen, extraer un Modelo Digital de Elevación y producir ortofotos tanto en áreas pequeñas y en grandes extensiones a un bajo costo (Sandoval, 2013).

En esta tesina se realiza una aproximación técnica a los principales factores que intervienen en el correcto empleo de la tecnología Drone para el levantamiento fotogramétrico. La técnica planteada establece una metodología accesible, económica y eficaz que puede ser utilizada por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, con todos los beneficios posibles del uso de la fotogrametría. Las aeronaves son equipos fáciles de adquirir por la variedad de modelos y marcas presentes en el mercado.

Para la obtención de productos cartográficos mediante la metodología planteada, es necesario realizar una buena planificación del proyecto de vuelo fotogramétrico, considerando la orografía del terreno, la vegetación, los cuerpos de agua, etc., corrigiendo la precisión del modelo y los posibles errores que se puedan producir, propios de la técnica digital y del uso software fotogramétrico. La elección adecuada del número de puntos de apoyo a utilizarse en el proyecto y la correcta ubicación de los mismos, permite obtener un modelo digital del terreno más preciso y con mejores resultados en la georreferenciación.

Las técnicas de levantamiento topográfico tienen también sus propios métodos y son las que garantizarán que el levantamiento aéreo sea óptimo. Teniendo esto en cuenta, se debe considerar que, la camera del Drone debe ser fotométrica y que resulte óptimo trabajar con resoluciones de muestreo de entre 4 a 7 cm por pixel, pudiendo llegar a 10 cm/pixel si se desea optimizar el costo y sacrificar precisión. Esto permite generar cartografía en escala 1:100 e incluso 1:50. Y mediante el análisis de los datos fotogramétricos se puede obtener curvas de nivel.

El sistema de trabajo utilizado resulto ser muy práctico y permitió realizar el proyecto en poco tiempo dando resultados favorables. Para este tipo de relevamiento es óptimo y confiable volar a una altura aproximada de 100 m, ya que los resultados de los datos obtenidos después del procesamiento son óptimos para trabajos cartográficos. A esta altura el tiempo de vuelo de la misma área es menor, así como la cantidad de imágenes obtenidas facilitando el procesamiento.

Comparando costo, riesgo, tiempo de trabajo de campo, procesamiento de datos, se puede concluir que esta herramienta de trabajo permite obtener resultados confiables y comparables con otros instrumentos topográficos y fotogramétricos convencionales, presentando muchas ventajas. Más allá de que ningún instrumento suplirá a otro de forma completa, es una herramienta que brinda grandes beneficios respecto al resto.

Gracias a esta metodología también se pueden realizar distintos tipos de análisis utilizando los datos del relevamiento fotogramétrico como se ve reflejado en el capítulo 12 de la presente tesina, mediante el uso de las herramientas de trabajo proporcionadas en los distintos softwares de procesamiento de datos SIG.

Se concluye que se pueden presentar mejores resultados aplicando metodologías y tecnologías similares en diferentes áreas, situaciones climáticas y topográficas, aumentando la precisión y la resolución respecto a otros tipos de trabajos fotogramétricos.

En situaciones donde se requiere conocer la información existente del terreno con precisión y en forma urgente, el uso combinado de metodologías topográficas convencionales y tecnología UAV, resulta en una solución conveniente.

BIBLIOGRAFIA

Aerial Insights (2019), ¿Qué es y cómo funciona una cámara multiespectral? Consultado (13/12/2020) desde:
https://www.aerial-insights.co/blog/camara-multiespectral/

Angeles G. y Gentili J. (2011). Cartografía general y temática: apuntes de cátedra. 1a ed. Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2011. CD-ROM. ISBN 978-987-1620-29-6

Aero Expo, Lidar para dron, Consultado (12/12/2020) desde:
https://www.aeroexpo.online/es/fabricante-aeronautico/lidar-dron-3462.html

Araujo Vivian Gonçalves, Accioly Pyramon, (2019). Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa da Densidade de Povoamentos Florestais. Brazilian Journal of Technology, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 758-783, abr./jun. 2019.

Area insights, (2019) 6 aplicaciones para planificar el vuelo de tu Drone Consultado (14/12/2020) desde:
https://www.aerial-insights.co/blog/6-aplicaciones-para-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/

Área dron. (2019). ¿Qué Tipos de Drones que Existen? Escuela de pilotos de dron. Consultado (27/07/2020) desde:
https://www.areadron.com/que-tipos-de-DRONES-existen/

APLITER Termografía, CAMARAS TERMOGRAFICAS DRONES, Consultado (14/12/2020) desde:
https://www.apliter.com/categoria-productos/camaras-termograficas-drones/

B@UNAM, CUAIEED, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia, Consultado (20/04/2020) desde:
http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/efecto_doppler/

Bugayevskiy, L. M. and Snyder, J. P. (1995). Map projections. A Reference Manual. Taylor& Francis. UK. 328p.

CameraNU.nl, DJI Inspire 1 V2.0 drone. Consultado (24/10/2020) desde:
https://www.cameranu.nl/nl/p799215/dji-inspire-1-v2-0-quadcopter

Cárdenas Hernández O. (2019). A ciencia cierta, Un ojo en el cielo. Letra Fría, Consultado (20/04/20) desde:
https://letrafria.com/a-ciencia-cierta-un-ojo-en-el-cielo/

Cuandovisitar. (2021). Mejor época para viajar, tiempo y clima Solís. Consultado (14/09/2021) desde:
https://www.cuandovisitar.co.cr/argentina/solis-136704/

DELAIR. (2020). UX5 HP. Consultado (20/09/2020) desde:

https://delair.aero/ux5-hp-3/

Dji. (2020). Phantom 4 Pro V2.0. Visionary Intelligence. Elevated Imagination. Consultado (13/02/2021) desde:
https://www.dji.com/phantom-4-pro-v2?site=brandsite&from=landing_page

Delgado V. (2016). Que es un drone. Consultado (19/05/2020) desde:
http://eldrone.es/que-es-un-drone/

Departamento de Geomántica, Universidad de Melbourne. (2001). Escala del mapa. Consultado (25/04/2020) desde:
https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/EntradaDatosGeograficos/SDEModule/SDE_Theory_maps.htm#scale

De rutas y destinos (2021). Pronostico del Tiempo Solís, Buenos Aires, Clima Hoy. Consultado (14/09/2021) desde:
https://www.derutasydestinos.com/pronostico_clima_Solis-Buenos_Aires-tiempo.html

Epay, (2020). New DJI Pilot App? Consultado (03/01/2021) desde:
https://www.aseae.top/ProductDetail.aspx?iid=52229112&pr=76.99

ESRI. (2007). Consultado (25/10/2020) desde:
https://www.esri.com

Galván F. M. (2012). Introducción a la fotogrametría (Fotogrametría I - Principios), UNDEF, Facultad de Ingeniería del Ejercito, Universidad de la Defensa Nacional, p. 1

GIS&Beers. (2018). Recomendaciones para generar una cartografía de calidad. Consultado (18/04/2020) desde:
http://www.gisandbeers.com/claves-generar-una-cartografia-de-calidad/

Hargrave e the Pioneers. (2005), La construcción de un moderno radioplano Denny-Righter. Consultado (14/05/2020) desde:
https://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/denny_mariotti.html

Herrera B., (1987). Elementos de Fotogrametría. Universidad Autónoma de Chapingo. Mexico DF.

Instituto Geografico Nacional (IGN), Conceptos Cartográficos. Gobierno de España.
Consultado (10/06/2020) desde:
https://www.ign.es/web/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf

ILVO ISENCE, Parrot Sequoia, Instituto de Investigaciones Agrícolas, Pesqueras y Alimentarias. Consultado (15/12/2020) desde:
https://isense.farm/content/parrot-sequoia

Juguetecnic. (2019). ¿QUE ES UN DRONE? TIPOS, NOMBRES Y COMPONENTES. Consultado (23/05/2020) desde:
https://www.rctecnic.com/blog/107_que-es-un-Drone-tipos-nombres-componentes.html

López M. (1993). Fotointerpretación y Fotogrametría, EUIT Topográfica, UPM Madrid

Orellana Ramírez R. (2006). Apuntes Fotogrametría básica. Consultado (22/07/2021) desde:
https://docplayer.es/10081139-Rodrigo-orellana-ramirez-apuntes-de-fotogrametria.html

Pérez Porto J.; Merino M. (2009). Definición de Píxel. Consultado (18/04/2020) desde:
https://definicion.de/pixel/

PIX4D, (2021). El software líder en fotogrametría para mapeo profesional con drones. Consultado (13/03/2021) desde:
https://www.pix4D.com/es/producto/pix4Dmapper-fotogrametria-software

Power by Zima Robotics, Tipos de Drones Aéreos. Consultado (15/10/2020) desde:
https://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/

Rejado, C. Cuerno. (2013). Aeronaves no tripuladas. Revista de derecho del transporte, 2013, p 63- 106

Rojas Pérez. A. Propongo: el Día Internacional por el Control Efectivo del uso de Drones. Consultado (09/03/2020) desde:
https://www.sabersinfin.com

Runco Argentina. DJI Phantom 4 Pro V2.0. Consultado (13/02/2021) desde:
https://www.runco.com.ar/producto/dji-phantom-4-prov2/

Sandoval, G.H. 2013. Generación de mapas utilizando vehículos aéreos no tripulados de baja altitud. Tesis de Licenciatura. Instituto politécnico Nacional. México D.F

Santamaría Peña J.; Sanz Méndez, T. (2011). Fundamentos de Fotogrametría. Editorial, Santamaría Peña, ISBN: 978-84-930087-1-0

Smith G. M. (2020). ¿Qué es un Sensor y Qué Hace?, Dewesoft. Consultado (25/10/2020) Desde:
https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor

Sören Hese. (2017). Uso de DroneDeploy y el modo POI para el mapeo automático de nubes de puntos. JenaCopterLabs. Consultado (13/12/2020) desde:
http://jenacopterlabs.de/?p=376

Terradron. (2019). ¿Cómo planificar un vuelo con Pix4D Capture?, Consultado (13/12/2020) desde:
https://terradron.cat/planificar_vuelo_drones_pix4D_capture/

Tododrone. (2016). Cinco claves para aumentar la autonomía de un dron. Consultado (13/09/2021) desde:
https://www.todrone.com/aumentar-autonomia-dron/

Tomlinson, R.F. (2005). Thinking About GIS, Geographic Information System Planning for Managers. ESRI Press. (328 pp)

Trejo Medina, L., Peña, J., Colomo, R., González, B. (2016). Revisión Tecnológica, Normativa Y Aplicaciones de los Vehículos Aéreos No Tripulados En La Ingeniería (Parte 1)». Dyna Ingeniería e Industria 91 (3): 517-521. doi:10.6036/7841)

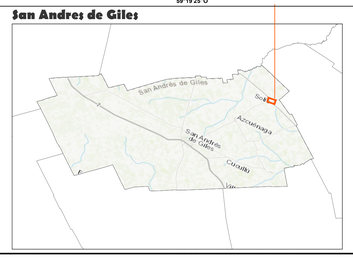
Vite C. I. B. (2005). Principios Básicos de la Fotogrametría Actual. Instituto Politécnico Nacional. Consultado (27/05/2020) desde:
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1458/156_2005_ESIA-ZAC_SUPERIOR_braulio_vite.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Weather Atlas, (2021). Previsión meteorológica y clima mensual Solís, Argentina. Consultado (14/09/2021) desde:
https://www.weather-atlas.com/es/argentina/solis-clima

"LOCALIDAD DE SOLÍS"

INSTITUTO UNIVERSITARIO NAVAL

Escuela de Ciencias del Mar



Referencia

- Capilla - Nuestra Señora de Lourdes
- Camicería y Despensa - Los de Areco
- Club Social y Deportivo - Solís
- Cocineros - Al Volante
- Despensa - Nano
- Distribuidora - Las Cinchada
- El Roperito - De Juani
- Estación De Servicio - Solís
- Estación de Trenes - Solís
- Kiosco - Elena
- Mueblería - Tu Estilo
- Plaza Principal - Solís
- Repostería Artesanal - JMCB
- Restaurante - Monica Crespo
- Verdulería y Despensa - La Morenita
- Caminos Secundarios
- Caminos Principales

ESCALA 1:1.500

0 62,5 125 250 375 500 Metros