



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**Determinación del patrón de vuelo óptimo para cuantificar
ortomosaicos sobre humedales costeros por medio de un sistema de
aeronave piloteada a distancia**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

PRESENTA:

Yokinaro Raymundo Arredondo



Director de Tesis: Dr. Francisco Javier Flores de Santiago
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Ciudad Universitaria, CDMX., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mí amada Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por darme la oportunidad de desarrollarme más que profesionalmente y sobre todo por hacer de mí un mejor ser humano.

Al Dr. Francisco Javier Flores de Santiago, por brindarme su apoyo, paciencia, tiempo, por compartirme sus conocimientos y su experiencia.

Ing. Francisco Ponce, por orientarme y darme su apoyo siempre en la búsqueda de mi crecimiento profesional, agradezco por brindarme sus valiosos conocimientos y sobre todo su amistad. Sin duda profesor Ponce, son pocas las personas como usted, gracias a usted pude estar en lugares como ninguno, esto a bordo de ambos Buques Oceanográficos de la UNAM.

Maestro Miguel Ángel Flores Espinoza, por ser mi profesor de carrera y darme el conocimiento que me ayudo a realizar este trabajo, así como el apoyo y la orientación para culminar este proceso de titulación.

Dr. Joaquín Salas, por su apoyo y sus comentarios, así como su tiempo.

A los Sinodales

Mtro. en Geo. Ricardo Javier Garnica Peña, Ing. Gustavo Vázquez Cruz, Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguila, por su asesoramiento, comentarios y sobre todo su apoyo para poder culminar esta tesis.

A mis profesores:

Gracias por su esfuerzo, tiempo y sobre todo por compartir su experiencia, gracias por ser parte de esta gran universidad, por seguir formando personas con criterio y sobre todo gente que pueda aportar a mejorar este país.

DEDICATORIA

A mi Madre:

Gracias por siempre estar a mi lado, gracias por tu motivación, por tu fuerza, por tu motivación de seguir adelante, por ser algo tan especial en mi vida, este, ha sido un gran proceso en mi vida gracias a ti.

A mi Padre:

Gracias por siempre apoyarme y sobre todo por ser un gran amigo, gracias por tus palabras, gracias por estar siempre a mi lado. Me enseñaste a jamás darme por vencido, y sobre todo a ayudar a que sea este mundo un mejor lugar para todos.

A mi hermano:

Gracias por ser parte de mi vida, gracias por ser mi compañero de vida, sin ti tampoco sería posible esto.

A mis tíos:

Gracias por confiar en mí, sin ustedes esto no se hubiera realizado. Gracias por su apoyo incondicional.

A mis amigos:

Gracias por creer en mí, por apoyarme en los buenos y en los malos momentos, gracias, por ayudarme a brillar, y esto también es por ustedes. Karla, José Luis, Sergio, Andrés, Luis, Daniel, David, Josué, Katya, Perea, a todos aquellos que aún faltan por mencionar, muchas gracias por todo. A todos aquellos que siempre estuvieron en mi vida y fueron aparte fundamental de mi crecimiento profesional, gracias Señora Juanita, sin usted no estuviera aquí. Gracias a todos aquellos que han sido mis compañeros de vida, gracias infinitas por apoyarme y creer en mí, siempre estarán en mi corazón.

La máxima victoria es la que se gana sobre uno mismo.

Buda

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Percepción remota.....	2
1.2 Plataformas	2
1.3 Sensores para la percepción remota.....	3
1.4 Resolución	7
1.4.1 Resolución espectral	7
1.4.2 La resolución espacial.....	8
1.4.3. La resolución temporal.....	9
1.4.4 La resolución radiométrica.....	9
1.4.5 Fotogrametría.....	10
1.4.6 Fotogrametría terrestre	10
1.4.7 Fotografía aérea	10
1.4.8 Sobreposición	11
1.4.9 Sobreposición Longitudinal y Transversal.....	11
1.5 UAS o UAV	12
1.5.1 Plataformas	13
1.5.2 Sensores para los UAVs	16
1.5.3 Ventajas y Desventajas.....	17
1.5.3.1 Ventajas de los UAVs.....	17
1.5.3.2 Desventajas de los UAVs	18
1.5.4 Plan de vuelo	19
1.6 Humedales.....	20
1.7 Problemática	21
1.8 Revisión Bibliográfica	21
2 JUSTIFICACIÓN.....	25
3 OBJETIVO GENERAL.....	25
3.1 Objetivos Particulares	25
4 HIPOTÉISIS	26
5 ÁREA DE ESTUDIOS.....	26
6 MATERIALES Y MÉTODO	28

6.1 UAV.....	28
6.6.1 Aeronave (UAV).....	28
6.1.2 Cámara (sensor)	29
6.1.3 MapPilot	29
6.1.4 Agisoft PhotoScan	30
6.1.5 Estudio preliminar	31
6.1.6 Plan de Vuelo.....	31
6.1.7 Procesamiento 2D	34
7. RESULTADOS	39
7.1 Ortomosaicos 2D.....	39
7.2 Tiempo de vuelo.....	42
7.3 Tiempo de vuelo.....	42
7.4 Número de imágenes.....	43
7.5 Distancia del vuelo.....	44
8. DISCUSIÓN.....	44
9. CONCLUSIÓN	47
10. REFERENCIAS.....	49
11. ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de plataformas en la percepción remota.....	3
Figura 2. Sensor pasivo.....	4
Figura 3. Sistema sensor activo.....	5
Figura 4. Espectro electromagnético.....	7
Figura 5. Campo de visión instantáneo angular (IFOV).....	8
Figura 6. Sobreposición Longitudinal y Lateral.....	12
Figura 7. Ejemplos de UAVs (traducida).....	14
Figura 8. Ubicación área de estudio.....	27
Figura 9. Cuadrante del área de estudio	27
Figura 10. UAV Phantom 3 Pro	28
Figura 11. Aplicación para dispositivo móvil	32

Figura 12. Planeación del vuelo, generando el área de recorrido	33
Figura 13. Importar las fotografías obtenidas por los vuelos en Agisoft Photoscan.....	35
Figura 14. Alineación de fotografías en Agisoft Photoscan.....	36
Figura 15. Creando la malla en Agisoft Photoscan	37
Figura 16. Procesamiento para crear el ortomosaico en Agisoft Photoscan.....	37
Figura 17. Exportando ortomosaico	38
Figura 18. Otomosaico sobreposición 30-30.....	39
Figura 19. Otomosaico sobreposición 40-30.....	39
Figura 20. Otomosaico sobreposición 50-30.....	39
Figura 21. Otomosaico sobreposición 40-40.....	39
Figura 22. Otomosaico sobreposición 50-40.....	40
Figura 23. Otomosaico sobreposición 50-50.....	40
Figura 24. Otomosaico sobreposición 60-40.....	40
Figura 25. Otomosaico sobreposición 60-50.....	40
Figura 26. Otomosaico sobreposición 70-40.....	40
Figura 27. Otomosaico sobreposición 70-50.....	40
Figura 28. Otomosaico sobreposición 60-60.....	40
Figura 29. Otomosaico sobreposición 70-60.....	40
Figura 30. Otomosaico sobreposición 80-40.....	41
Figura 31. Otomosaico sobreposición 80-50.....	41
Figura 32. Otomosaico sobreposición 70-70.....	41
Figura 33. Otomosaico sobreposición 80-60.....	41
Figura 34. Otomosaico sobreposición 80-70.....	41
Figura 35. Otomosaico sobreposición 90-60.....	41
Figura 36. Otomosaico sobreposición 80-80.....	41
Figura 37. Otomosaico sobreposición 90-70.....	41
Figura 38. Otomosaico sobreposición 90-80.....	41
Figura 39. Registro del tiempo de vuelo.....	42

Figura 40. Tiempo en el que tardo el Agisoft Photoscan en procesar cada ortomosaico.....	43
Figura 41. Cantidad de imágenes adquiridas en cada vuelo, con diferentes sobreposiciones.....	43
Figura 42. Registro de la distancia que recorrió el UAV en cada vuelo.....	44
ÍNDICE DE TABLAS	
Tabla 1. Tabla 1. Clasificación de UAVs según la CO AV-23/10 R4.....	16
Tabla .2 Revisión artículos aplicaciones con UAVs con diversos métodos, sensores y modelo (2D y 3D).....	22,23,24
Tabla 3. Tiempo de Vuelo de Phantom 3 Pro.....	55
Tabla 4. Tiempo de procesamiento del ordenador.....	55,56,57
Tabla 5. Número de imágenes adquiridas	57
Tabla 6. Distancia del vuelo.....	58
Tabla 7. Resultados de Distancias de Vuelo, Tiempo de Vuelo, Número de Imágenes y Procesamiento.....	58,59

RESUMEN

En los últimos años, un gran número de personas han adoptado el uso de UAVs como herramientas para realizar trabajos de campo. Esto se debe principalmente a las ventajas para la adquisición de datos espaciales de una forma rápida, precisa y frecuente. El propósito de este trabajo fue generar un método que determine en forma óptima la sobreposición ideal de vuelo autónomo para poder abarcar un área considerable con un número mínimo de imágenes, sobrevolando un polígono de aproximadamente 40 ha de superficie, cerca de la línea de costa, en la localidad de Teacapán, municipio de Escuinapa en el Estado de Sinaloa. En nuestro método, generamos ortomosaicos mediante el software Agisoft Photoscan. Los resultados de este trabajo fueron 21 ortomosaicos con una resolución de 5.2 cm/pixel, obteniendo un vuelo óptimo en la sobreposición 60-50% a 120 metros. Dando como resultado una distancia recorrida de 5.8 km, un tiempo de vuelo de 24 minutos, 8 segundos, generando 72 imágenes y 0.36 GB de almacenamiento. En conclusión, se observó que las sobreposiciones mayores a este solamente generan un tiempo mayor de procesamiento y vuelo, mientras que sobreposiciones menores no alcanzan a generar un ortomosaico completo del área piloto. Se encontró en la bibliografía, que debido a las características técnicas de los UAVs son dinámicos y dependiendo de las especificaciones del sensor abordo existen variaciones en cuanto al modelo de visualización en modelos de imágenes 2D y 3D, dando diferencias en la planeación de vuelos, el tipo de área a visualizar, y el tipo de terreno.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Percepción remota

La percepción remota es la ciencia y arte cuyo principal objetivo es adquirir información de un objeto sin tener contacto con él. Esta información se obtiene desde diversas plataformas, sea por sensores a bordo de satélites o aeronaves pudiéndose observar todos los rasgos del lugar que son capturados en una o varias imágenes; estos rasgos se obtienen basándose en las leyes de termo-electricidad, magnetismo, teorías de ondulación, entre otras (Campell,2011). Para poder realizar la interpretación y análisis de las imágenes adquiridas, se debe recurrir a las bases de la radiación electromagnética, la cual es reflejada o emitida por el objeto y es registrada por medio de un sensor que a su vez se procesa para generar una imagen (Mather,2004). Esta técnica ha resultado de gran utilidad para observar la superficie terrestre, marina o la atmósfera, y existen diversas aplicaciones en las áreas de la agricultura, minería, detección de aguas contaminadas; así mismo para el monitoreo de bosques y de glaciares, entre otras (Jensen,2014). La observación de la superficie terrestre constituye el marco de estudio de la percepción remota, ideado a principios de los setenta para designar cualquier medio de observación remota fundamentado en la fotografía aérea (Chuvienco,2000). El propósito del uso de la percepción remota en este trabajo, es adquirir imágenes áreas con una buena resolución, utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV).

1.2 Plataformas

Los instrumentos que se usan para adquirir datos de percepción remota pueden ubicarse a pocos metros sobre la superficie de estudio a bordo de plataformas aéreas. Estas plataformas son vehículos donde se transportan los instrumentos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia (Jensen, 1987).

Existen cuatro plataformas típicas para adquirir datos de sensores remotos (Figura 1).

- *In situ*
- Satelitales
- Aéreos tripulados
- Aéreos no tripulados

Las plataformas de percepción remota pueden ir desde helicópteros o globos justo por encima de la superficie de la Tierra, a aeronaves a baja altura y medias altitudes, a satélites a cientos de kilómetros de altura en el espacio (Figura 1). Tradicionalmente, los satélites han ofrecido cobertura de gran superficie, imágenes multiespectrales, y un tiempo de revisión confiable para estudios de cambio ambiental. Sin embargo, las características y los costos de operación son algunas de sus limitantes (Klemas,2015). Esto dependerá del objetivo y la finalidad de las características del estudio a seguir.

1.3 Sensores para la percepción remota

La percepción remota se realiza con un instrumento, a menudo referido como un sensor. A diferencia de las plataformas, los sensores obtienen información específica sobre un objeto (e.g., el diámetro del dosel de un árbol) o la extensión del área geográfica de un fenómeno (e.g., el límite poligonal de un bosque). La energía electromagnética emitida o reflejada desde un objeto o área geográfica, donde representa una comunicación de alta velocidad muy eficiente entre el sensor y el fenómeno a observar. Las mediciones de energía electromagnético deben convertirse en información usando procesamiento visual y datos digitales (Jensen, 1987). La detección remota ocurre a una distancia del objeto o área de interés. La distancia intermedia podría ser de 1 cm, 1 m, 100 m, o más desde el objeto o área de interés. Instrumentos de percepción remota como cámaras multiespectrales y sensores hiperespectrales, detectores infrarrojos, sensores de detección de radio radar y alcance (RADAR), y detección por luz y distancia (LiDAR), son algunos de los sensores instalados a bordo de satélites o aviones, helicópteros y vehículos aéreos no tripulados (UAV) (Jensen, 2014).



Figura 1. Tipo de plataformas en la percepción remota.

Fuente: Jensen, John R. 2014. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Pearson Education Limited.

Algunos sensores usados en la percepción remota (Rosete & Bocco,2003):

- Cámara fotográfica
- Cámara multiespectral
- Cámara digital
- Cámara de video

Las fotografías aéreas, las imágenes de satélite, así como imágenes capturadas con vehículos aéreos, son algunos ejemplos de información obtenida a partir de estas plataformas. Sin embargo, Jensen (2007) afirma que cada plataforma cuenta con diversas características, así como ventajas y limitantes, tanto en resolución, tiempo de vuelo y costo, las cuales serán descritas posteriormente.

Para poder obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. Por ejemplo, somos capaces de ver un árbol porque nuestros ojos reciben y procesan una energía luminosa procedente de este mismo, esa señal, además, no es originada por el árbol, sino por un foco energético exterior que lo ilumina. Es así por lo que no somos capaces de ver un árbol u objeto en plena oscuridad. Este ejemplo nos sirve para poder introducir los tres principales elementos de cualquier sistema de percepción remota: sensor (nuestros ojos), objeto observado (árbol) y el flujo energético que los pone en relación y permite detectar el objeto (Sol). En este contexto, Chuvieco (1996) comenta que “existen sistemas en percepción remota que utilizan una fuente de iluminación externa, sobre la cual no se puede tener control. Estos sistemas, llamados sistemas pasivos, utilizan al Sol como fuente de iluminación” (Figura 2). También existen sistemas activos los cuales utilizan su propia fuente de energía,



Figura 2. Sensor pasivo Fuente: <https://www.inegi.org.mx>

Jensen (1987). Siendo sensores activos los sistemas de RADAR, LiDAR o la navegación y detección por sonido (SONAR), emiten con una energía electromagnética la superficie de estudio, posteriormente se registrar la cantidad del flujo de energía reflejada por la superficie hacia el sensor (Figura 3).

La energía se transfiere de un lugar a otro, en este caso hablaremos de la propagación de esta misma y definiremos algunos conceptos de las propiedades de la luz.

Fotón: Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio (Chuvieco,1996).

Reflexión: Muestra la dirección de propagación de la energía electromagnética, donde los rayos de luz no atraviesa el cuerpo transparente (Chuvieco,1996).

Emisión: Muestra como se refleja la energía en función a la iluminación de la superficie, en este caso la superficie terrestre (Chuvieco,1996).

Refracción: Cuando un rayo de luz pasa oblicuamente a través de la frontera entre dos materiales de índices de refracción diferentes, el rayo se desvía o quiebra (Bueche, 2007).

Absorción: Un átomo en su estado base puede absorber un fotón (partícula mínima de energía luminosa que se produce, se transmite y se absorbe) en un proceso llamado absorción de resonancia sólo si dicho fotón puede elevar al átomo a uno de sus niveles de energía permitidos (Bueche, 2007).

Dispersión: es la propiedad por la que el espectro electromagnético tiene diferente longitud de onda, integrantes de un haz de luz blanca, se desplazan a diferente velocidad en un cuerpo transparente y experimentan desviaciones en su recorrido en diferentes grados de desviación (Bueche, 2007).

Difracción: Se refiere a la desviación de la propagación en línea recta que ocurre cuando una onda pasa al otro lado de una obstrucción parcial (Bueche, 2007).

Históricamente las propiedades de la radiación electromagnética de la luz se han explicado por dos teorías aparentemente contrapuestas. Aquella que la concibe como un haz ondulatorio, y aquella otra que la considera como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones, con masa igual a cero (Masip,2015). Las dos teorías se pueden

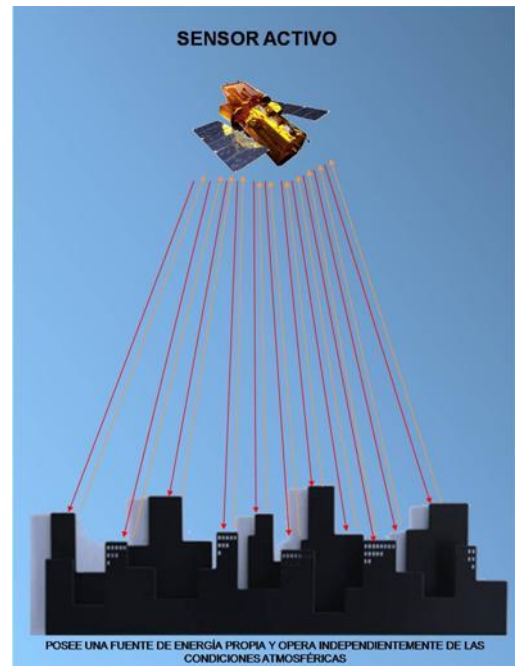


Figura 3. Sistema sensor activo.

Fuente. <https://www.inegi.org.mx>

compaginar de acuerdo, pues se ha demostrado que la luz presenta comportamiento que puede explicarse de acuerdo a ambos planteamientos.

La percepción remota se basa en la cantidad de energía electromagnética reflejada, emitida en bandas o frecuencias específicas y la características químicas, biológicas y físicas de los fenómenos del medio a investigar (por ejemplo, un campo de maíz) (Jensen,1984).

Desde el punto de vista de la percepción remota, conviene destacar una serie de bandas espectrales (Figura 4) que son las más frecuentes con la tecnología actual, son las siguientes:

- **Espectro Visible** (0.4 a 0.7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Dentro de esta región, suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (A: 0.4-0.5 μm), verde (V: 0.5-0.6 μm), y rojo (R: 0.6-0.7 μm), en razón con los colores primarios. (Chuvieco,2000).
- **Infrarrojo cercano** (IRC: 0.7 a 1.3 μm). También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico (Chuvieco,2000).
- **Infrarrojo medio** (IRM : 1.3 a 8 μm). en esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y emisión de la superficie terrestre (Chuvieco,2000).
- **Infrarrojo lejano o térmico** (IRT: 8 a 0.1mm), que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el color proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres (Chuvieco,2000).
- **Microondas** (0.1mm a <1mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa (Chuvieco,2000).

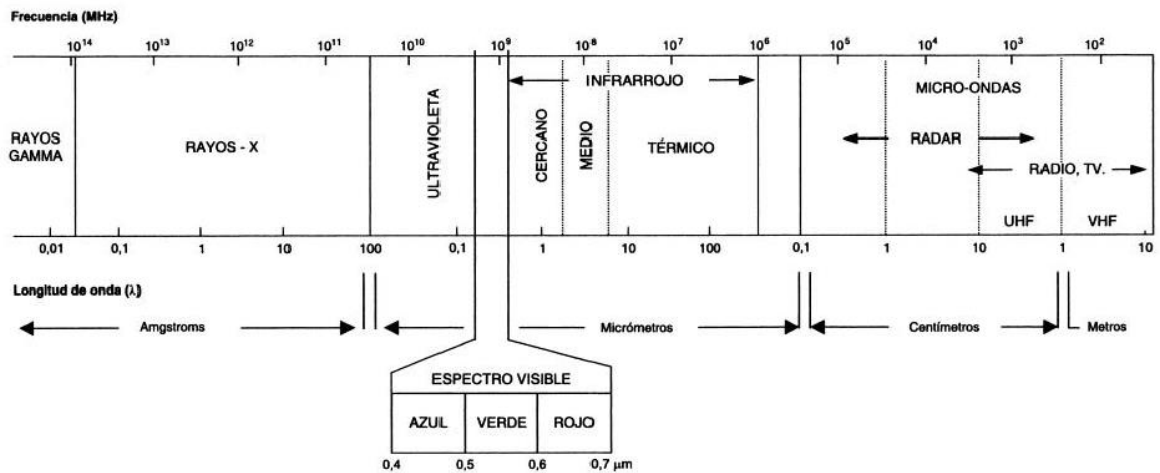


Figura 4. Espectro electromagnético, (Chuvieco, 2000).

1.4 Resolución

La resolución de un sensor, tiene la característica de registrar información en detalle a su entorno. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga (Roset & Bocco, 2003).

1.4.1 Resolución espectral

La resolución espectral es el número y la dimensión (ancho de banda) de intervalos de longitud de onda (denominados bandas o canales) en el espectro electromagnético de la luz de un instrumento o sensor es sensible a su medición. Esta se propaga a través del medio, donde solo la radiación depende de su longitud de onda, su intensidad, y su propagación. Los sensores hiperespectrales involucran medición de datos en cientos de bandas. Ciertas regiones o bandas espectrales de espectro electromagnético de la luz son óptimas para obtener información sobre parámetros biofísicos (Jensen, 2014).

1.4.2 La resolución espacial

La mayoría de los estudios de percepción remota registran los atributos espaciales de los objetos en el terreno. Hay una relación general entre el tamaño de un objeto o área. La resolución espacial es una medida de separación angular o lineal más pequeña entre dos objetos observados en un momento determinado, ya que el tamaño del píxel en una escena es variable incrementándose conforme nos alejamos del punto (Xiao *et al*,2018).

Para ello se utiliza cuatro criterios sobre los cuales se basa la definición de resolución espacial. Estos criterios son las propiedades geométricas del sistema de imagen, la capacidad de distinguir entre los objetivos puntuales, la capacidad de medir la periodicidad

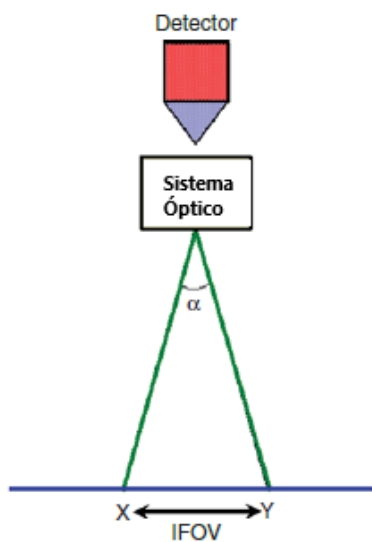


Figura 5. Campo de visión instantáneo angular (IFOV), α , mostrando la proyección XY en el suelo. Fuente: (Mather,2011).

de objetivos repetitivos, y la capacidad de medir las propiedades espectrales de objetivos pequeños. Las propiedades del sistema de imagen, es el campo de visión instantánea (IFOV). El IFOV se define como el área sobre el terreno que, en teoría, es vista por el instrumento de una altitud dada en cualquier instante dado en el tiempo. El IFOV se puede medir de una de dos maneras, como el ángulo α o como la distancia equivalente XY en el terreno (Figura 5). El IFOV se vuelve más pequeño en altitudes más bajas y aumenta a medida que aumenta la altitud (Mather,2011). La resolución espacial de la fotografía aérea, se puede medir 1) colocando líneas calibradas, paralelas en blanco y negro en lonas que se colocan en el campo (puntos de control), 2) obteniendo fotografías del área

de estudio, y 3) calculando el número de áreas resolubles en pares de líneas en la fotografía (Jensen, 2014).

Esta tesis pretende determinar cuál es la relación óptima para generar fotografías aéreas con alta resolución y sin pérdida de información.

1.4.3. La resolución temporal

Una de las cosas valiosas dentro de la percepción remota es realizar un registro de un medio o un paisaje de la Tierra en un momento único en el tiempo. El paisaje o medio registrado a través de un tiempo determinado puede ser utilizado para identificar procesos donde ayude a la comprensión de la dinámica del mismo. Según Jensen (2014), la resolución temporal se refiere a la frecuencia cuando el sensor registra imágenes de un área en particular. Idealmente, el sensor obtiene datos de forma repetitiva para capturar características específicas del objeto de estudio.

1.4.4 La resolución radiométrica

La resolución radiométrica se define como la sensibilidad de un sensor a registrar diferencias en la señal (Jensen,2014). Determina el número de niveles de gris recogidos en el film, se expresa en niveles por píxel. A mayor resolución radiométrica donde hace referencia al número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. En general, cuanto mayor es el número de niveles mayor es el detalle con que se podrá expresar dicha información (Rosete & Bocco,2003). Varios nuevos sistemas de sensores tienen una resolución radiométrica de 12 bits (valores que van de 0 a 4.095) (Jensen,2014). Los números digitales (DN) asociados a cada píxel en las imágenes digitales y que generan a lo que llamamos escala de grises que en realidad es la escala de niveles digitales disponibles para representar los detalles de la imagen. El número de niveles de grises se expresa comúnmente en términos de dígitos binarios (bits) necesarios para almacenar el valor del nivel de gris máximo para el caso considerado (Rosete & Bocco,2003).

Un bit es la unidad fundamental de un sistema binario pudiendo poseer sólo los valores 1 y 0. Usando un arreglo de bits puede representarse un número cualquiera dentro de los límites de "longitud de palabra" de la computadora (Rosete & Bocco,2003).

1.4.5 Fotogrametría

Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de obtención de información confiable sobre los objetos físicos y el medio ambiente a través del proceso de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas áreas (Campbell, 2011). Se puede decir que esta técnica consiste en hacer uso de fotografías desde el punto de vista métrico con el objetivo de obtener cartografía (mapas y planos de alta resolución).

Algunas ventajas de trabajar con la técnica de fotogrametría son las siguientes:

- Generar información objetiva con representaciones actualizadas del área de estudio.
- Obtención de fotografías de alta resolución.
- Bajo costo en la operatividad del levantamiento de datos.
- Facilidad y rapidez de obtención de datos en lugares de difícil acceso.

1.4.6 Fotogrametría terrestre

Corresponde al uso de fotografías que fueron tomadas de manera horizontalmente y verticales al terreno, se puede realizar mediciones sobre estas, pero presentan una dificultad en cuanto al manejo de escala (Sani,2015). Su aplicación se puede dar para diversos estudios, como lo es en el campo de la arqueología y la arquitectura.

1.4.7 Fotografía aérea

Se obtiene a partir de vehículos que cuentan con una cámara que captura imágenes perpendiculares a la superficie terrestre. A partir de este método se obtiene representaciones de la superficie del terreno (Sani,2015), en 2 y 3 dimensiones en donde todo depende de los objetivos de la adquisición del material fotográfico, y permite cubrir grandes superficies de terreno en un menor tiempo.

1.4.8 Sobreposición

En cada transecto que se realiza en el vuelo fotogramétrico, la cámara hace fotografías del terreno con un tiempo entre ellas, tal que, la distancia entre los puntos principales de dos fotografías consecutivas, permite la existencia de un sobreposición o recubrimiento longitudinal fijado de antemano. Además, entre las pasadas adyacentes, normalmente con sentido contrarios, también se debe buscar un recubrimiento transversal, igualmente fijado de antemano. La finalidad de estos recubrimientos es la posibilidad de aplicar la visión estereoscópica y obtener, de este modo, un modelo estereoscópico en la parte solapada de dos fotografías consecutivas, pudiendo enlazarse este modelo tanto en sentido longitudinal como transversal. según el tipo de vuelo fotogramétrico y el documento que se quiera obtener a partir de él, se especifican unos valores particulares de los recubrimientos que se necesitan para adquirir imágenes con una resolución espacial de calidad (Campbell, 2011).

El propósito del estereoscopio es ayudar al analista a mantener líneas de visión paralelas. La visión estereoscópica se basa en la capacidad de nuestro sistema visual para detectar paralaje estereoscópica, la diferencia en la apariencia de los objetos debido a las diferentes perspectivas. Las fotografías aéreas estereoscópicas se adquieren en secuencias diseñadas para proporcionar superposición vistas del mismo terreno, es decir, proporcionan dos perspectivas separadas del mismo paisaje, al igual que nuestros ojos proporcionan dos imágenes separadas de una escena. Así que podemos usar fotografías aéreas para simular una vista estereoscópica del terreno, siempre que podemos mantener líneas de visión paralelas (Campbell, 2011).

1.4.9 Sobreposición Longitudinal y Transversal

La sobreposición longitudinal también llamado sobreposición Frontal, es muy importante antes de realizar un recorrido de vuelo ya que el programa de vuelo conseguirá a través del plan de vuelo generar series de fotografías adquiridas (Campbell, 2011) (ver Figura 6).

La sobreposición transversal o también llamada sobreposición Lateral, debe generarse al momento de cada barrido del vuelo del UAV, con el objetivo de unir las fotografías adquiridas, donde a través del procesamiento de programas puedan encontrar puntos en común y emparejarlos entre imágenes, generar nube de puntos, reconstruir un modelo, además de generar un ortomosaico (Campbell, 2011) (ver Figura 6).

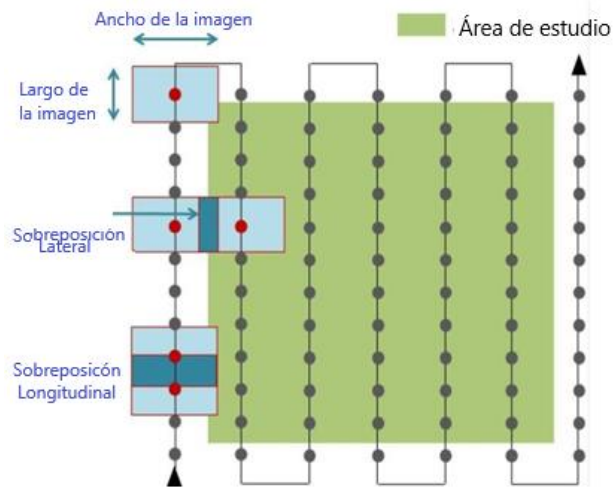


Figura 6. Sobreposición Longitudinal y Transversal

Fuente: (ICGeo & Ingeniería Civil Y Geología, n.d.)

1.5 UAS o UAV

En los últimos años se ha dado un mayor interés en el uso de los sistemas aéreo no tripulado (UAS) o sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), también los UAS son conocidos bajo diferentes nombres y acrónimos, como " Vehículo aéreo no tripulado " (UAV), un vehículo sin tripulación (VANT), son vehículos reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión, eléctrico o de reacción, y también llamados comúnmente "Drones " , siendo los términos más populares (Colomina & Molina, 2014). Así también algunos otros autores como Newcome (2004) y Hardin (2010) definen a estos vehículos, como vehículos a control remoto (VCR), y los definen como un avión de ala fija o rotores (utilizando para la recopilación de datos ambientales, sin un piloto a bordo de la aeronave, donde incluye la posibilidad de que el vehículo tenga vuelos autónomos o piloteado a control remoto por un operario en tierra).

estas plataformas sean populares para aplicaciones de percepción remota, en particular cuando, las tecnologías espaciales, y los métodos *in situ* no son tan eficientes por diversas razones. En donde se incluye las resoluciones de datos temporales y espaciales, accesibilidad en el tiempo y espacio, rentabilidad, y seguridad operacional (Shahbazi *et al.*, 2014).

Al igual que con muchos otros sistemas de percepción remota (PR), las capacidades de lo UAVs eran inicialmente exploradas por organizaciones militares. Donde se usaron para diferentes propósitos, como desarrollando plataformas de armas y adquiriendo datos para aplicaciones tácticas y estratégicas (Watts *et al.*, 2010).

1.5.1 Plataformas

Los UAV se han identificado como plataformas seguras, ligeras, flexibles y automatizadas para diversas aplicaciones. Pueden ser de ala fija o ala giratoria, Los UAVs de ala fija suelen tener mayor velocidad y mayor alcance en cobertura espacial (área de cobertura).

Los UAVs son muy diversos y pueden clasificarse de acuerdo a distintas características, por ejemplo:

- *Uso:* Sus aplicaciones pueden ser militares o civiles. Las últimas incluyen el uso recreativo y comercial, y en algunas ocasiones se distingue al uso gubernamental y el de experimentación.
- *Peso:* Puede variar desde los 0.1 kg, hasta más de 1000 kg. Un ejemplo de este último es el Global Hawk, un dron de uso militar que pesa alrededor de 3 mil kg y tiene una envergadura de cerca de 35 metros.
- *Rango y duración de vuelo:* Los vuelos pueden durar de 5 minutos a 30 horas, alcanzar altitudes superiores a 20 mil metros y recorrer distancias de miles de km.

(Anderson & Gaston, 2013).

Los UAVs de alas rotatorias incluyen helicópteros en miniatura y basados en rotores. Donde comúnmente, los de ala giratoria tienen duraciones de vuelo más cortas (Whitehead *et al.*, 2014). Estos tipos de UAVs como los "helicópteros" basados en rotor (Figura 7), difieren en su capacidad a los sistemas de ala fija en que los primeros son capaces de flotar sobre objetivos fijos, lo que los hace adecuados para perfiles verticales, así como maniobras en pendientes (Anderson & Gaston, 2013).

Los UAVs de ala fija (Figura 7), son típicamente lanzados a mano o por catapulta, y aterrizan con o sin algún tipo de mecanismo de detención, tales como un paracaídas o volando en una red. Los de alas rotativas generalmente requieren alguna operación manual para despegue, y puede o no requerir una operación manual para el aterrizaje (Whitehead *et al.*,2014).

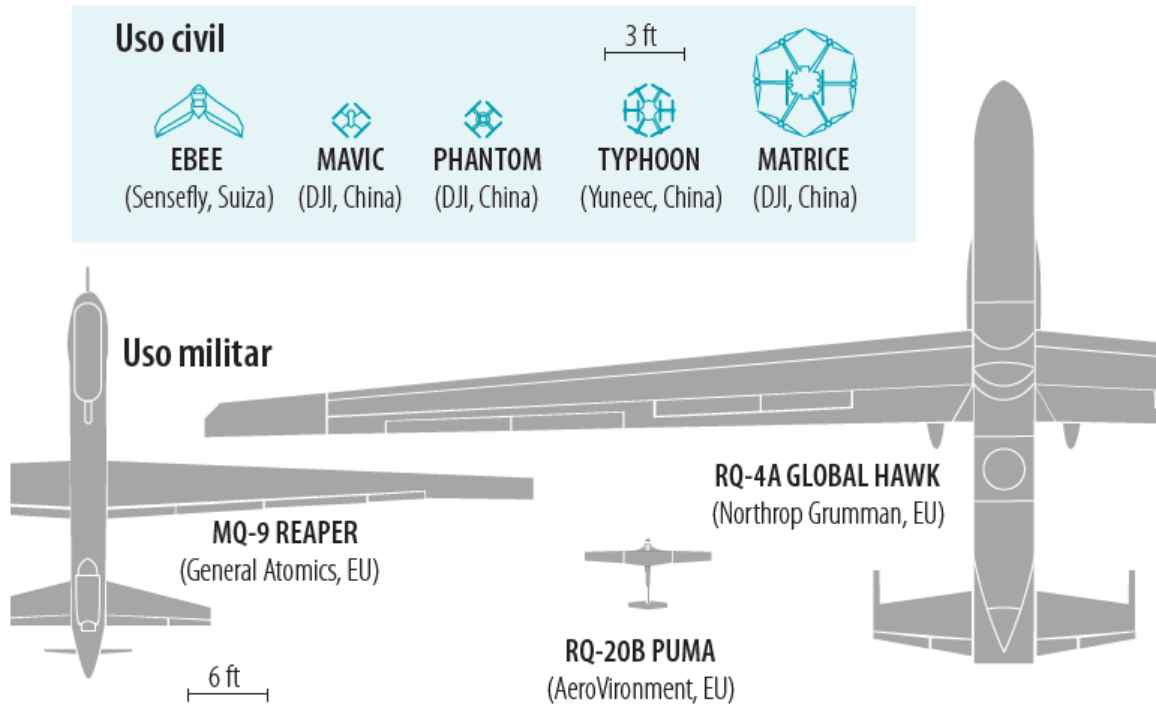


Figura 7. Ejemplos de UAVs (traducida). Fuente: <https://www.economist.com/technology-quarterly/2017-06-08/civilian-drones>.

Según Whitehead *et al.*, (2014), los UAS se clasifican como micro (<0.9 kg), mini (0.9-13.6 kg), táctico (13.6-454.5 kg), resistencia larga mediano altitud (454.5-13 636.4 kg), y resistencia larga de gran altitud (> 13 636.4 kg). Algo que se debe de puntualizar en estos vehículos, es que en la literatura existe ligeras variaciones de clasificaciones, más que nada en los rangos de su capacidad y según sus regulaciones.

Crutsinger (2016), comenta que la mayoría de los UAVs en el mercado de hoy en día, son “micro-drones” (con un peso no mayor a 2 kg). El más popular de ellos está equipado con un sistema de cámara estabilizada y ofrece tiempos de vuelo de aproximadamente entre 10 a 30 minutos, la mayoría de UAVs tienen una configuración de multirrotores, que ofrecen una mayor estabilidad y capacidad para mantener la posición en vuelo en forma vertical, en

comparación a los vehículos de ala fija que pueden volar por períodos largos y con mayores distancias, pero no puede sobrevolar verticalmente, así como, son más difíciles de despegar y poder aterrizar.

Es de recalcar que los modelos de UAVs con mayor capacidad de vuelo y capacidad de almacenamiento de baterías, varía con forme a las características tanto de su peso, capacidad de vuelo y los sensores de fotografías aéreas de alta calidad y de vídeo a bordo del UAV .

1.5.1.2 Regulación en México

Cada vez más personas alrededor del mundo usan los UAVs tanto con fines recreativos como con fines comerciales o profesionales, por lo cual, cada país asigna entidades encargadas de emitir reglas de uso del espacio aéreo para evitar en medida de lo posible accidentes, el caso de México la entidad encargada de emitir las reglas es la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil) una dependencia de la SCT (Secretaría de comunicaciones y Transportes). El documento emitido por la DGAC dónde se encuentran las reglas de vuelo para los Drones en México, es el CO AV-23/10 R4, expedido y publicada el 25 de julio de 2017. Establece requisitos de acuerdo a una clasificación en función del peso de despegue y el tipo de uso del dron (Tabla 1).

En el cual se hace referencia a las normativas en la capacitación y acreditación de licencia de manejo, esta aplica cuando los vuelos que realizas son dentro del ámbito comercial, por otro lado, para volar los UAVs menores a 2 Kg en ámbitos recreativos o personales pueden realizarlo siempre y cuando se cumpla con otras reglas como no volar cerca de aeropuertos, helipuertos o de noche, entre otras. En este contexto es de mencionar que los vuelos realizados en este trabajo son con fines científicos, además que los vuelos realizados fueron hechos en febrero del 2017, en el cual esta normativa aún estaba en vigencia.

Tabla 1. Clasificación de UAVs según la CO AV-23/10 R4.		
Peso máximo de despegue	Categoría	Uso
2 kg o menos	UAVs Micro	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
2.001 kg hasta 25 kg	UAVs Pequeño	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
25.001 kg o más	UAVs Grande	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial

1.5.2 Sensores para los UAVs

Los UAVs actuales, son tan poderoso que muchos de los modelos son perfectamente adecuados para las necesidades de los científicos, como la alta resolución de mapeo de hasta 1-5 cm / pixel (Crutsinger,2016). Debido a los avances tan importantes en la implementación de estos vehículos, se pueden equipar con varios sensores livianos, desde “cámaras RGB, cámaras multiespectrales para estudios de vegetación, cámaras térmicas y LIDAR” (Crutsinger,2016). Estos sensores están disponibles actualmente en drones de alta gama y están comenzando a integrarse en vehículos intermedios, integrando así útiles alternativas para la versatilidad de estos vehículos en diferentes tipos de campos de la ciencia.

Aunque las imágenes satelitales brindan una visión global y frecuente de la perspectiva de la superficie del planeta, las operaciones de gestión táctica de escala aún requieren una mayor resolución espacial (Ambrosia & Wegener,2009). Además, los aviones tripulados no son capaces de volar de forma segura en la presencia de humo denso, por largos períodos de tiempo durante la noche y el día, y sin cambiar los equipos. Comparativamente, los sistemas aéreos no tripulados pueden ser configurado para vuelos seguros, en sus diferentes aplicaciones de observación y supervisión. Considerando la extensión de la percepción remota de los UAVs, como bastante viable (Shahbazi *et al.*,2014).

Entre los UAVs, los caracterizan diversas variaciones en cada aplicación, ejemplos del uso de los UAVs: (i) realización de mapeo, que incluye estudios de casos de monitoreo el hábitats (Wallace *et al.*, 2012); (ii) evaluación de biomasa y estado del nitrógeno en la agricultura (Hunt *et al.*, 2005); (iii) enumeración de vida silvestre y animales, con estudios de casos que describen la detección de las concentraciones de peces durante un importante evento de desove de salmón (Hugenholtz, 2014); (iv) dinámica del paisaje con un caso de estudio del Ártico, cambio de glaciares (Whitehead *et al.*, 2014), entre otros por no mencionar.

1.5.3 Ventajas y Desventajas

Dentro del empleo de los UAVs, existen ventajas y desventajas en la implementación de uso de estos vehículos.

1.5.3.1 Ventajas de los UAVs

- Desde del tipo de sensor abordo (algunos sensores generan imágenes de la alta resolución de hasta 1-5 cm / pixel, dependiendo de la altura de vuelo), en este caso la diferencia rotunda entre alta y baja, es la visualización de los detalles en cada escena (Watts *et al.*, 2012), la fácil maniobrabilidad, que es ideal para vuelo a baja altitud y navegación en entornos complejos; la capacidad para operar en clima adverso y ambientes peligrosos y los riesgo de exposición reducido para los pilotos, son los principales elementos que hacen a esta técnica el ser factibles para proyectos de investigación.
- La larga duración del vuelo, la mejora de seguridad de la misión, repetibilidad del vuelo debido a corrección de los pilotos automáticos-manuales y la reducción de los costos operativos en comparación con los aviones tripulados. Además, su capacidad para volar por debajo de la capa de nubes y su portabilidad adecuados para todas las estaciones del año (Watts *et al.*, 2012). tipos de sensores (algunos sensores general imágenes de la alta resolución de hasta 1-5 cm / pixel.
- Los datos adquiridos por estas plataformas proporcionan una opción para medir las características y/o procesos de la superficie de la Tierra, la atmósfera, evaluando las variaciones y sus cambios (Whitehead *et al.*, 2014). A un bajo costo, y con una alta resolución por lo antes mencionado. Las categorías más pequeñas de UAV a menudo van acompañadas de estaciones de control terrestre compuestas por computadoras

portátiles y otros componentes lo suficientemente pequeños para ser transportado fácilmente con el avión en vehículos pequeños, a bordo de barcos o en mochilas (Watts *et al.*, 2012).

- Muchos drones de consumo común, pueden volar un 1 km transecto a 50-100 m de altitud con 80% de superposición de fotos a 12 megapíxeles en solo unos minutos, lo que requiere un piloto para el vuelo con una sola recarga de batería de Litio (Crutsinger,2016).

1.5.3.2 Desventajas de los UAVs

- El vuelo de los UAVS cómo anteriormente se ha mencionado es energéticamente costoso dependiendo de los requerimientos de la misión, así como el tamaño del dispositivo, y también la capacidad de cada dispositivo en su almacenamiento de energía. Por ejemplo, una maniobra de alto costo emergentico. Florenano (2015), menciona que en las maniobras relacionado al consume alto de energía es cuando se necesita descender algún UAV para cambio de baterías o ajuste del sensor.
- El usuario de los UAVs deberá considerar cuidadosamente su recolección de datos requeridos requisitos y, por lo tanto, los sensores necesarios para llevar a cabo su misión. (Watts *et al.*, 2012). Además, la mayoría de los drones de hoy, no pueden volar de manera autónoma en modo sin GPS (out-GPS,), puede cubrir solo escalas espaciales más pequeñas, y no son a prueba (Crutsinger,2016). Sin embargo, las plataformas convencionales de percepción remota como los satélite y aviones tripulados, donde van montados los sensores no siempre han cumplido con las demandas de los usuarios de este sector
- Otros aspectos a considerar, son las especificaciones de las imágenes de baja altitud, como las grandes distorsiones geométricas, inconsistencia de superposición, desenfoque de movimiento variable, bajo contraste de los objetos, el alto relieve del terreno en relación con la altitud de vuelo. Debido a esto, es hay frecuentemente distorsiones en las imágenes resultantes del cabeceo, balanceo y guiñada del avión (Rango *et al.*, 2006). Esta limitante crea problemas en el nivel más básico de autonomía, restringiendo la capacidad de vuelo por un periodo de tiempo, de acuerdo de las características de la misión, he incluso en ocasiones debe de ser interrumpido, para el cambio de baterías en tierra.
- Todavía existen en algunos ámbitos, muchas deficiencias relacionadas con el UAVs, incluidos los altos costos iniciales del equipo, la confiabilidad de la plataforma, la

capacidad del sensor y la falta de procedimiento estandarizado para procesar grandes volúmenes de datos debido a la resolución de cada sensor (Zhang *et al.*, 2012), así como la capacidad de almacenamiento de cada sistema.

1.5.4 Plan de vuelo

Gracias a los avances de los UAVs, los usuarios novatos pueden aprender a volar y comenzar a capturar imágenes en vuelo en cuestión de minutos, algo que solía exigir meses o años de práctica. Existen varios programas de cómputo para planificar la misión de vuelo, donde los drones pueden despegar automáticamente, capturar imágenes de un área determinada a través del uso desde dispositivos inteligentes, donde posteriormente se puede aterrizar automáticamente, todo esto gracias al plan de vuelo previamente planificado y cargado en el UAV (Hardin *et al.*, 2010).

Esta etapa se basa en hacer la planificación del vuelo mediante el uso del software de planificación de vuelo donde se utiliza un mapa de fondo o una imagen de satélite para definir el área del estudio. Luego se agrega información adicional, como la altura de vuelo deseada, la distancia focal y la orientación de la cámara, la cantidad deseada de superposición entre las imágenes y la dirección de vuelo deseada.

El software de planificación de vuelo calculará el recorrido óptimo para obtener imágenes que cubriera el área de interés. Durante este proceso, los diversos parámetros se pueden ajustar hasta el operador está satisfecho con el plan de vuelo. El operador en cualquier momento tiene la capacidad de anula el piloto automático a través del sistema de control de tierra (Whitehead *et al.*, 2014).

El plan de vuelo sin duda puede tener cambios con las variaciones meteorológicas que se presenten en el lugar de estudio, así que es importante tener en cuenta, que, si existiera algún factor apremiante para operar el UAV manualmente, lo pilotos pueden tener la opción para corregir dichas variaciones en el vuelo.

1.6 Humedales

Los humedales y estuarios son altamente productivos y actúan como hábitats críticos para una variedad de plantas, peces, y otra fauna silvestre. Los humedales también proporcionan protección contra inundaciones, protección contra daños por tormentas y oleaje, mejora la calidad del agua a través de la filtración de residuos agrícolas e industriales, y recarga los acuíferos (Morris *et al.*, 2002). Sin embargo, los humedales han sido expuestos a una serie de alteraciones que inducen estrés, incluyendo operaciones deforestación y relleno, modificaciones hidrológicas, escurrimiento de contaminantes, eutrofización, embalses y fragmentación por caminos y zanjas (Klemas, 2011).

Recientemente, también ha habido una considerable preocupación con respecto al impacto del cambio climático en los humedales costeros, especialmente al aumento relativo del nivel del mar, el aumento de las temperaturas, y cambios en la precipitación. El cambio climático es considerado una causa para la destrucción del hábitat, cambio en la composición de las especies, y la degradación del hábitat en los humedales existentes (Titus *et al.*, 2009).

El aumento del nivel del mar no solo puede causar el ahogamiento de hábitats de marismas, pero también puede reducir los periodos de germinación (Noe y Zedler, 2001).

Los humedales vegetados son estables solo cuando la plataforma pantanosa es capaz de acumular sedimentos a una tasa igual a la tasa prevaleciente del aumento del nivel del mar. El desarrollo limitará aún más la capacidad de los humedales para sobrevivir gracias a las modificaciones de la hidrología de humedales y extensas zonas urbanas (Klemas, 2011).

La aplicación de avances recientes en diseño de sensores y análisis de datos, son parte fundamental para la planeación y el monitoreo de estos ecosistemas, para así salvaguardar estos entornos tan sensibles.

Desde hace más de tres décadas, las técnicas de teledetección han sido utilizadas con éxito por investigadores académicos y agencias gubernamentales para mapear y monitorear humedales (Dahl, 2006). La mayoría de los modelos de cuencas costeras requieren monitoreo por el cambio de uso de suelo, así como entradas de otros factores externos por esta actividad. Saber cómo es la cobertura de la tierra y su cambio, puede predecir la cantidad y tipo de escorrentía en ríos, humedales y estuarios y cómo los ecosistemas se verán afectados (Jensen, 2007).

Para identificar tendencias a largo plazo y variaciones a corto plazo, tales como el impacto del aumento del nivel del mar y los huracanes en los humedales. Los investigadores necesitan analizar series temporales en un análisis de secuencia de imágenes. Las imágenes deben ser adquiridos en condiciones ambientales similares (por ejemplo, la misma época del año y el mismo ángulo del sol) y en el mismo rango espectral o similar (Klemas, 2011).

1.7 Problemática

Los humedales presentan ciertas características únicas a diferencia de superficies terrestres sin presencia de agua. Por ejemplo, las cámaras del UAV tienen que estar en posición vertical y dependiendo de la hora de vuelo (generalmente al zenit) el reflejo del Sol es evidente en las imágenes captadas por lo que generalmente ocasiona un error al momento de generar los ortomosaicos. El uso de UAV en zonas costeras de humedales salinos ocasiona problemas logísticos mayores tales como el no poder aterrizar una aeronave tipo ala fija por no poseer una zona de aterrizaje y la presencia de suelo hipersalinas, lo cual ocasiona corrosión el momento de generar turbulencia en el suelo la cual entra a los motores eléctricos.

Debido al convenio FONATUR-UNAM "Playa Espíritu", Sinaloa, parte de los acuerdos consistió en una zona de conservación en donde se pidieron crear canales artificiales de humedales para propósitos de avistamiento de aves y reforestación de un predio previamente usado para pastoreo de ganado. Así mismo se pidieron determinar el área de las 40 ha de zona piloto y posteriormente incrementar el área potencial de conservación en la península del norte (área final de 200 ha), parte del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IA1002018 el cual es parte este trabajo de tesis.

1.8 Revisión Bibliográfica

Debido a las diversas implementaciones de los UAVs se realizó en este trabajo una revisión bibliográfica de varios artículos que mencionan el uso de UAVs en sus zonas de estudio la Tabla 2, se enlista los artículos revisados.

Tabla .2 Revisión artículos aplicaciones con UAVs con diversos métodos, sensores y modelo (2D y 3D)

Autor y año	2D o 3D	Sobreposición (%) Lateral y longitudinal	Núm. Áreas muestreadas	Tipo de superficie	Altura de vuelo(m)	Resolución del sensor(cm/pixel)	Tipo de sensor (LiDar, RGB, DEM)
1. Berni <i>et al.</i> , (2009)	2D	80% lat - 90% long	Un área ,70 ha	Cultivo	200m	40 y 20 cm	RGB + infrarrojo
2. Bryson <i>et al.</i> , (2017)	3D	70%lat-80%long	Un área de ~150m	Coral	~20m	5 cm/pixel	RGB
3. Casado <i>et al.</i> , (2015)	2D	80% lat 60 %long	Un área – 110km	Río	100m	2.5 cm/pixel	RGB
4. Casella <i>et al.</i> , (2017)	2D y 3D	90%lat	Un área de 8380m2	Coral	30m	~1.56cm/pixel	RGB
5. Casella & Elisa <i>et al.</i> , (2016)	2D y 3D	ND	Un área ~0.01km2	Línea de costa	70 m	RGB:3,648 x 2,736 resolución de píxel	DEM , RGB
6. Chabot <i>et al.</i> , (2016)	2D y 3D	70%lat y 70%long	Un área de ~50 ha	Bosque	137 m	5 cm/pixel	RGB
7. Chikhradze <i>et al.</i> , (2015)	2D y 3D	ND	Dos áreas	Estuario, playa	~56m	1 cm a 5 cm/pixel	DEM
8. Chirayath & Earle, (2016)	2D y 3D	ND	Un área de 10km2	Coral y estromatolitos	~23-34m	0.5 -3cm	RGB
9. Chisholm <i>et al.</i> , (2013)	3D	ND	Un área 400m2	Bosque	ND	ND	LiDAR
10. Clapuyt <i>et al.</i> , (2016)	2D y 3D	60% lat-60%long	10 sitios 1 ha	Acantilado costero	~56 m	7.70 mm	RGB y LiDAR
11. Cook, (2017)	2D y 3D	ND	Una área-1 km	Desfiladero Río	~ 60-85 m	~ 1.8-2.6 cm/pixel	LiDAR y RGB
12. Dandois <i>et al.</i> , (2013)	2D y 3D	40% lat – 40% long	Un área 6.25 ha	Bosque	130m	ND, son 1.5 Puntos/m2	RGB,LiDAR
13. Flynn & Chapra.,(2014)	2D	ND	20km	Río	120 m	25cm/pixel	RGB
14. Fonstad <i>et al.</i> , (2013)	3D	ND	Un área de 3.6ha	Río	70m	~10cm/pixel	LiDAR
15. Fraser <i>et al.</i> , (2018)	3D	85%lat – 70%long	3 sitios ~3.6 ha	Bosque	50m, 100m y 120m	ND	RGB
16. Frey <i>et al.</i> , (2018)	2D y 3D	83% y 91 %	ND	Bosque	~72m y 136m	Entre 3 y 25 cm/pixel	LiDAR

17. Getzin <i>et al.</i> , (2012)	2D	ND	Un área ,1ha	Bosque	250m	7cm/pixel	RGB
18. Gonçalves & Henriques,(2015)	2D y 3D	60%.-	2 áreas - ,130 ha y 40ha	Duna y playa	~135m	3.2-4.5 cm/pixel	RGB y LiDAR
19. Goodbody <i>et al.</i> , (2017)	2D y 3D	85%lat x 70%long	2 áreas, 52.4 y 66.4 ha	Bosque deforestado	100m	2.4cm/pixel	RGB,DEM
20. Guo <i>et al.</i> , (2017)	3D	ND	3 áreas Entre 0.05 y 3 km2	Bosque mixto, bosque de hoja perene y manglar	500 m	1. (> 190 puntos m-2). 2. Manglar 10 a 18 Onda entre 170 puntos m-2	LiDar
21. Haala <i>et al.</i> , (2013)	3D	70%long y 80%lat	Un área de 0.4km2	Cultivo	100m	4.3cm/pixel	RGB
22. Harwin & Lucieer, (2012)	2D y 3D	70%long - 95%) lat	1,100m	estuario	~50	2.5 -4 cm/pixel	RGB, DEM
23. Honkavaara <i>et al.</i> , (2012)	2D	60% y 80%	Un área 45km	Bosque	2, 3 y4km	~20 ,30 y 40 cm/pixel	RGB + infrarrojo
24. Hugenholtz <i>et al.</i> , (2013)	2D y 3D	65%long 60%lat	Un área,1.92 km2	Dunas	200 m	ND	LiDAR
25. Hunt <i>et al.</i> , (2005).	2D	ND	Un área 1ha	Cultivo	200m	100mm	RGB + Infrarrojo
26. Jaakkola <i>et al.</i> , (2012)	3D	ND	ND	Bosque	40 m	8.5 nm.	LiDAR
27. James & Robson,(2012).	3D	ND	Un área de 37200 m.	Cráter	10 m	_2.2 _ 106 points	RGB
28. Javernick ,(2014)	3D	70% long 60% lat	Un área, 1 km2	Río	100m	20cm/pixel	RGB
29. Kachamba <i>et al.</i> , (2017)	3D	80%lat-90long	4 250,500.750 y 1000m2	Bosque Tropical	325m		RGB
30. Koh <i>et al.</i> , (2012)	2D	>50%lat y 50%	Un área ~4,6,25km	Bosque tropical	100 y 180m	< 10 cm/pixel	RGB
31. Korpela <i>et al.</i> , (2012)	2D y 3D	ND	Un área ,4km	Bosque	3km	100-300cm/pixel	RGB y LiDAR
32. Laliberte <i>et al.</i> , (2011)	2D	40%lat y 75 long	Un área ,130ha	Desierto	210m	10 cm/pixel	RGB
33. Laliberte <i>et al.</i> , (2016)	3D	75% lat y 85% long	Un área ,516ha	Bosque tropical	200 y 250m	50cm	LiDAR
34. Lehmann <i>et al.</i> , (2017)	3D	80% lat y 60%long	Un área de ~35 km.	Sabana	100m	3.08cm/pixel	RGB

35. Long, Nathalie, <i>et al.</i> , (2016)	3D	75% long 60%lat	Un área, 400ha	Playa	47 m	4.6cm/pixel	DEM
36. Lu & He, (2018)	2D	50% lat - 85%long	ND	Pastizal	70m	5,10 ,15 y 20 cm/pixel	RGB + Infrarrojo
37. Lucieer <i>et al.</i> , (2014)	3D	80 lat- 90%long	Un área, 35 km	Deslizamiento de tierra	80m	1 cm/pixel	LiDAR
38. Marcaccio <i>et al.</i> , (2016)	2D	60% lat 60%long	Un área,90 ha	Humedal	120m	10 cm/pixel	RGB
39. Ortega-Farías <i>et al.</i> , (2016).	2D	ND	ND	Cultivo	60m	6cm/pixel	RGB+ infrarrojo
40. Peralta-Carreta <i>et al.</i> , (2016)	2D	60%lat y 75% long	Un área de303.75 ha	Zona urbana	572m	20cm/pixel	RGB
41. Pérez <i>et al.</i> , (2015)	3D	ND	2 áreas	Playa	50 m	12.5mm	Scanner
42. Ritter <i>et al.</i> , (2014)	3D	60%lat y 40%	Dos áreas,566 ha y 12,949 ha	Campus y cultivo	90m	2-5cm/pixel	LiDAR
43. Rosnell & Honkavaara,(2012)	3D	80%lat- 90%long	Un área de 90 000m2	Propiedad	~130m	2.8cm/pixel	RGB
44. Ruggles <i>et al.</i> , (2016)	3D	70%lat y 90%long	Un área de 15,170m2	Deslizamiento	10, 30,60 y120m	90 400 pints/m2	RGB
45. Tian <i>et al.</i> ,(2017)	2D	ND	Una área- 68 km2	Manglar Suelo Agua	ND	1 pixel/cm	RGB + infrarrojo
46. Turner <i>et al.</i> ,(2012)	2D y 3D	ND	4 sitios, entre 0.4 y 1.1ha	Isla	50 m	1cm/pixel	RGB
47. Wallace <i>et al.</i> , (2012)	3D	ND	Un área 11,288 m2	Bosque	50m	4 cm /pixel	LiDAR
48. Yu, Xiang, <i>et al</i> .,(2017)	2D	60% long y 30% lat	Una área - 1.38 km2.	Manglar	10m, 30m, 50m, 100m	5 nm.	RGB + infrarrojo

2. JUSTIFICACIÓN

En países con bajo capacidad institucional de infraestructura (estaciones de trabajo, capacidad de procesamiento), generalmente presentan una diversidad muy alta y las normativas para la conservación son nulas debido a que las áreas con diversidad alta generalmente se encuentran en regiones remotas y no se puede monitorear constantemente en trabajo de campo convencional. Una ventaja de usar UAV consiste en poder cuantificar mapas en 2D de zonas remotas sin necesidad de hacer un trabajo de campo intensivo. Por el contrario, el problema de usar UAVs consiste en las múltiples opciones de percepción remota al momento de programar vuelos autónomos por el piloto en tierra. El piloto es quien determina la altura, sobreposición (longitudinal, lateral), velocidad y el número de transectos de vuelo los cuales pueden ser distintos sobre una misma área de estudio.

3. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta propuesta consiste en generar un método óptimo para determinar la sobreposición ideal de vuelo autónomo y procesar e identificar hasta qué punto la sinergia genera un ortomosaico con buena resolución, con el mínimo de tiempo de vuelo y mínimo de imágenes en un área piloto de 40 ha.

3.1 Objetivos Particulares

- Delimitar y reconocer el área de estudio de 40 ha
- Determinar el mejor plan de vuelo para obtener imágenes con diferentes superposiciones
- Analizar y procesar datos, para generar un ortomosaico con un mínimo de imágenes, con una resolución de 5 cm/pixel

4. HIPOTÉISIS

La determinación de un método óptimo para un vuelo UAVs, estará relacionado con la sobreposición, altura y cantidad de imágenes para la obtención de ortomosaicos de alta resolución.

5. ÁREA DE ESTUDIOS

El área de estudio se encuentra a 2.5 kms de la línea de costa, los vuelos fueron efectuados en Febrero del 2017 ,en un polígono de aproximadamente 40 ha de superficie dentro de la localidad de Teacapán que está situado al sureste a 7 km de la cabecera municipal de Escuinapa en el Estado de Sinaloa con una elevación de 5 msnm aprox (Figura 8 y 9).

La temperatura media anual varía entre 12 y 28°C. La precipitación total anual, que ocurre principalmente entre los meses de julio y septiembre, oscila entre 900 - 1,300 mm (INEGI, 2009). Tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (83.06%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (16.94%). El tipo de uso de suelo para agricultura (35.48%) y zona urbana (0.75%). En cuestión al tipo de vegetación prevalece la selva baja caducifolia (41.32%), pastizal (5.31%), bosque de encino (0.38%) y no aplicable (16.76%) (INEGI, 2009). El sitio está en una llanura de inundación estacional donde dentro de esta y aledaño existen humedales debido a la morfología de dicho terreno, teniendo cuerpos de agua intermitentes en la zona.



Figura 8. Ubicación área de estudio (A, B, C, D, son las aristas del polígono). Obtenida de Google Earth.



Figura 9. Cuadrante del área de estudio. Obtenida de Google Eart.

6. MATERIALES Y MÉTODO

6.1 UAV

La plataforma UAV utilizada en este estudio fue un Phantom-3 profesional de 4 rotores (Figura 10). Es un dron con despegue vertical de 4 rotores y capacidad de una batería intercambiable, fue desarrollado por la empresa DJI. Se le considera un dron de gama media en referencia a su precio principalmente, al contar con características para poder realizar trabajos especializados, como es en el ámbito de ingeniería, estudios ambientales, de filmación, ente otros; en comparación con otros UAVs utilizados con la misma finalidad técnica. Dentro de sus características establecidas por el fabricante (DJI,2019), se detallan a continuación.



Figura 10. UAV Phantom 3 Pro. Fuente: <https://www.dji.com/mx/phantom-3-pro/info#specs>

6.6.1 Aeronave (UAV)

- Peso (Batería y Hélices Incluidas) 1280 g
- Tamaño Diagonal (Hélices Excluidas) 350 mm
- Velocidad Máx. en Ascenso 5 m/s
- Velocidad Máx. en Descenso 3 m/s
- Modo GPS
- Máx. Duración de Vuelo Aproximadamente 23 minutos

6.1.2 Cámara (sensor)

- Sensor 1/2.3" CMOS
- Píxeles efectivos: 12.4 M (píxeles totales: 12.76 M)
- Lente: FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8, enfoque a ∞
- Rango ISO: 100-3200 (vídeo) 100-1600 (foto)
- Velocidad Del Obturador: 8s -1/8000s
- Tamaño Máx. de Imagen : 4000x3000
- Tipos de Tarjetas SD Compatibles: Micro SD
- Capacidad Máx.: 64 GB. Clase 10 ó UHS-1 valoración requerida
- Tasa de Bits Máx. de Almacenamiento de Vídeo 60 Mbps
- Formatos de Archivo Admitidos: FAT32 (\leq 32 GB); exFAT ($>$ 32 GB)

6.1.3 MapPilot

MapPilot es una aplicación desarrollada por Map Made Easy, diseñada específicamente para productos DJI fabricante del UAV Phantom 3 pro. Es comercializado para ser instalado en sistemas iOS (Map made easy,2019), en este caso en particular se utilizó en un iPad para la planificación de vuelo del Phantom 3 Pro, donde de acuerdo a la página del desarrollador describe que el MapPilot se emplea entre algunas de sus muchas funciones las siguientes:

- Determinar el área de cobertura del área deseada
- Gestión de múltiples baterías
- Gestión de la velocidad
- Programar la altitud constante del sobrevuelo
- Planeación de la trayectoria dentro del polígono
- Determinar la superposición de las tomas de imágenes
- Inicio y lugar de lanzamiento
- Recopilar datos para crear mapas aéreos de alta resolución
- Guardar / Editar Misiones de vuelos previos o futuros
- Indicador de línea de visión
- Captura automáticamente la imagen de referencia de elevación (imagen de suelo)
- Asistencia de aterrizaje natural

6.1.4 Agisoft PhotoScan

Este programa fue lanzado al mercado en el 2010 para realizar el procesamiento de imágenes digitales y la generación de datos espaciales en 2D y 3D para su uso de implementación en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y permitir realizar mediciones indirectas de objetos de diferentes escalas. De acuerdo a la información proporcionada en su página web este programa permite generar los siguientes resultados de procesamiento (Agisoft, 2019).

- Clasificación de nube de puntos para lograr una reconstrucción geométrica de alta precisión.
- Modelos digitales de superficie georreferenciados a partir de la información de las imágenes procesadas y modelos digitales de terreno
- Importación de coordenadas de puntos de control en tierra (GCP) para lograr levantamientos de alta precisión
- Exportación de ortomosaico en formatos compatibles con SIG
- Medición de distancias, áreas y volúmenes gracias a herramientas integradas que permiten realizar análisis métrico de alta precisión y transferir estos datos a varios formatos de exportación compatibles con programas de diseño asistido por computadora
- Procesamiento de imágenes multispectrales y térmicas para generar índices de vegetación (NDVI)
- Generación de modelos 3D de edificaciones, interiores, personas, sitios arqueológicos, etc

6.1.5 Estudio preliminar

Se realizó una identificación de las zonas de estudio en Google Earth, posteriormente se realizó una visita previa a campo para poder identificar factores que debían ser tomados en cuenta antes de realizar el vuelo con el UAV como son los siguientes:

- Vías de acceso a las zonas de estudio
- Estimar el área a ser sobrevolado
- Identificar las posibles ubicaciones de los puntos de control sobre el terreno
- Tipo de superficie de la zona de estudio

6.1.5.1 Equipo en campo

- UAV Phantom 3 Pro
- Laptop
- Baterías de repuesto
- Ipad con software MapPilot

6.1.6 Plan de Vuelo

Se utilizó Map Pilot-DJI para planificar las rutas automáticas para que el UAV realizara los vuelos, instalada previamente en una tablet. La velocidad de vuelo el Phantom 3 Pro y la apertura de la cámara a bordo fueron ajustados por el software según las condiciones de luz y velocidad del viento durante el vuelo.

La pantalla inicial de la aplicación de Map Pilot muestra cuatro opciones que son para crear una nueva misión de vuelo, revisar misiones grabadas anteriormente, un manual de usuario y la opción de ajustar las configuraciones de la aplicación previo a un vuelo (Figura 11).



Figura 11. Aplicación para dispositivo móvil (Maps made easy, 2019).

La aplicación permite modificar algunos parámetros, esto en las configuraciones generales, y trabajar con las unidades que más nos convenga, así como, establecer un punto de origen del dron fijo o móvil, si la marca de fotografías tomadas debe estar visible durante el vuelo, establecer un radio máximo de vuelo, entre otras. Después establecer las configuraciones generales de vuelo, se procedió a elaborar los planes de vuelo para el área de estudio seleccionando la opción Create New Mission .

Una vez establecidas los parámetros de vuelo, previamente se visitó en campo y se aseguró de conocer el terreno del área y se toman en consideración todas las características o estructuras altas de este.

Se procedió a delimitar el polígono de estudio, lo cual se configuro en el mapa cuatro puntos, después se selecciona la forma de recorrido del dron, el cual es la ruta que el dron tomará desde el despegue y posteriormente se realiza la toma de las imágenes esto se mostraran en líneas blancas.

En la Figura 11 se muestra de lado derecho superior el polígono, donde con un punto azul se marca el punto de despegue de inicio, las líneas que cruzan el polígono son el trayecto registrado, la flecha roja, es la posición del UAV y su recorrido está marcado en la línea de trayecto con puntos azules, así también los puntos rojos son las aristas del polígono.

Del lado derecho superior se establece la velocidad a la que va el UAV, la altitud que trae, el trayecto recorrido en km, el desenfoco de movimiento esto ocasionado por el movimiento del vuelo y de las condiciones meteorológicas, el número de imágenes capturada, el tiempo de vuelo, la cantidad de almacenamiento de la tarjeta de memoria, y el tiempo restante del vuelo. Finalmente en la parte inferior de la Figura 12, se visualiza el imagen en tiempo real de la cámara a bordo, donde también se visualiza, las características de esta, como el ISO (describe la escala de sensibilidad que necesita para realizar la

captura de la fotográfica), Velocidad de obturación (corresponde al periodo durante el cual está abierto el obturador de una cámara, esto para regular el flujo de luz que entra al sensor) (Map made easy, 2019).

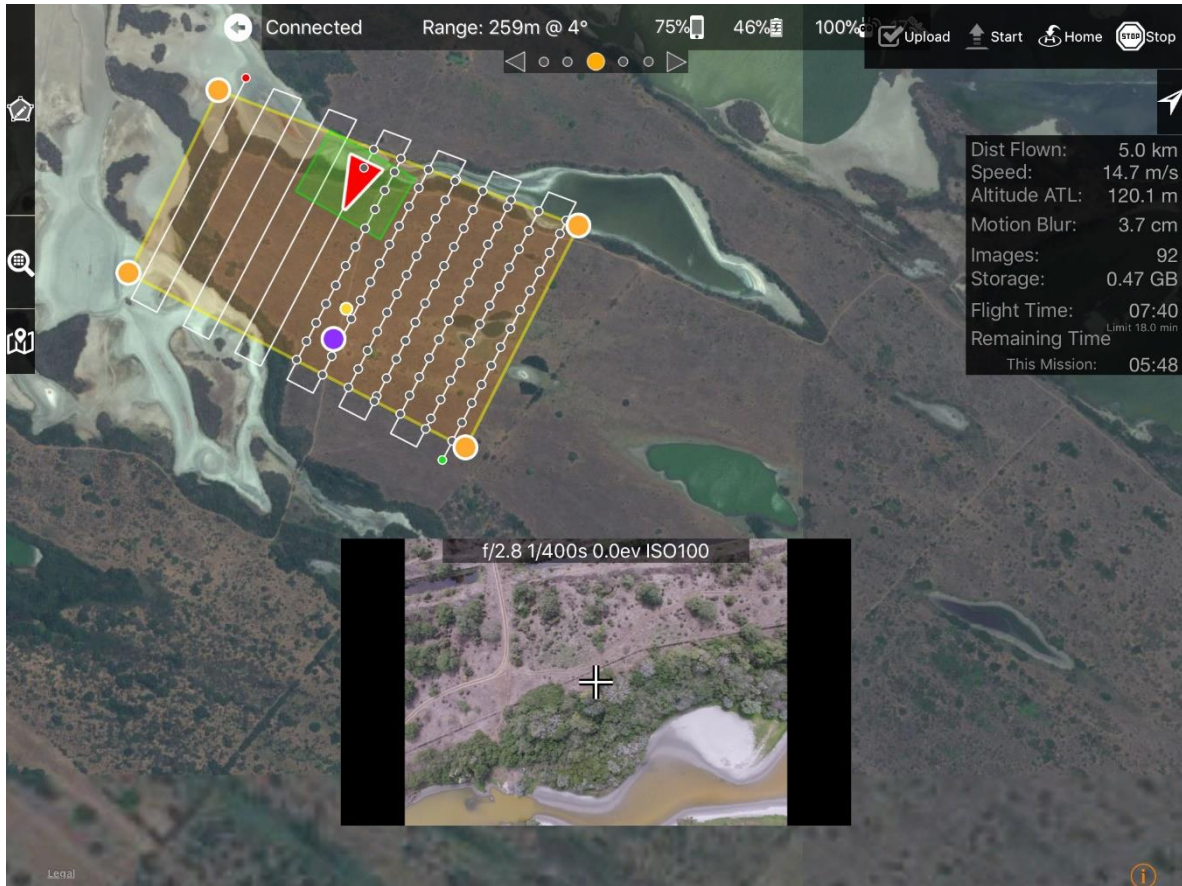


Figura 12. Planeación del vuelo, generado el área del recorrido del UAV.

La altura establecida en el plan de vuelo fue a de 120 m el suelo, en una superficie de 40 ha, con una superposición tanto longitudinal como transversal de 30-30, 40-30, 50-30, 40-40, 50-40, 50-50, 60-40, 60-50, 70-40, 70-50, 60-60, 70-60, 80-40, 80-50, 70-70, 80-60, 80-70, 90-60, 80-80, 90-70 y 90-80. Una vez establecidos estos parámetros la aplicación determinó de manera automática la duración del vuelo, el número de baterías necesarias, el número de imágenes que serán tomadas y el tamaño del pixel. Ya con la misión de vuelo previamente programada en la aplicación se dio finalizada la determinación de los parámetros de la misión y fue cargada al UAV. Es fundamental que debido a que el objetivo de este trabajo es para el monitoreo de supervisión visual del usuario, no se emplearon puntos de control (Ground Control Points, GCP por sus siglas en inglés) son puntos de referencia, los cuales en este trabajo no se usaron, ya que esta tesis es la primera fase del proyecto PAPITT.

6.1.7 Procesamiento 2D

La etapa final del proceso de adquisición de datos es unir las imágenes en un único mosaico que cubre el área de estudio, donde las imágenes resultantes de todos los vuelos realizados se integren visualmente en un mosaico final llamado ortomosaico (Turner *et al*, 2012).

Para crear un ortomosaico del área de estudio. La selección de las imágenes en este momento es un proceso manual y simple, que implica agregar imágenes al mosaico hasta lograr una cobertura suficiente, esto mediante la implementación del software Agisoft Photoscan.

El ordenador con el que se realizó el procesamiento presenta las siguientes especificaciones técnicas:

Sistemas: Windows 8.1

Procesador: Procesador Intel® Core™ i7 4710HQ

Memoria: 8 GB

Tarjeta gráfica: NVIDIA® GeForce® GTX970M con 3GB

Chipset: Intel® HM87 Express Chipset

Almacenamiento: 1TB HDD 7200

Adicionalmente se agregó a la computadora un disco duro adicional de estado sólido de 250 GB y 32 GB en RAM.

(Asus,2019)

Como se mencionó anteriormente, la técnica involucra el uso de software comercial Agisoft Photoscan Professional y MapPilot. Eligiendo el software Agisoft Photoscan Professional porque integra y automatiza muy bien los archivos de material fotográfico, con una interfaz fácil de usar, así también cuenta un procesamiento altamente confiable. También permite una fácil transferencia de resultados a varios formatos. El software que se usa en esta investigación se encuentra en la versión 1.4.0 (64 bits), idioma (ingles), o poder usar la versión de prueba por 30 días.

Para esta investigación se usa los siguientes pasos a seguir para generar los archivos ortomosaicos representado en 2D. Cabe recalcar que previamente al procesamiento de los datos en el programa Agisoft Photoscan, se tuvo que recolectar el material fotográfico previamente adquirido en campo, donde estos archivos se transfirieron del lugar de

almacenamiento de UAV al ordenador donde posteriormente se realizó el trabajo de procesamiento.

Para el procesamiento de la adquisición de datos previamente, se inició abriendo el software Agisoft Photoscan. Una vez dentro de la interfaz del programa, nos dirigimos a la barra de herramientas, seleccionando la herramienta “Workflow”, esto con la finalidad de cargar los archivos de adquisición del Phantom 3 Pro. En esta sección del Workflow se puede realizar el procesamiento de imágenes con PhotoScan incluye los siguientes pasos principales: 1) carga de fotos en PhotoScan; 2) inspeccionar imágenes cargadas, eliminar imágenes innecesarias; 3) alinear fotos; 4) construyendo una nube de puntos densos; 5) edición de nube de puntos densos; 6) malla de construcción (modelo poligonal 3D); 5) malla de edición; 6) generando textura; 7) exportación de resultados (PhotoScan, 2013).

Después añadimos las fotografías, usando la pestaña “Add Photos”, se despliega la ventana para poder añadir las fotografías en la carpeta imágenes, estas se pueden ver el número de las mismas y se usa el comando Ctrl + E para seleccionar todos los archivos dentro de la carpeta (Figura 13). Dando clic “Abrir” para finalizar este proceso.

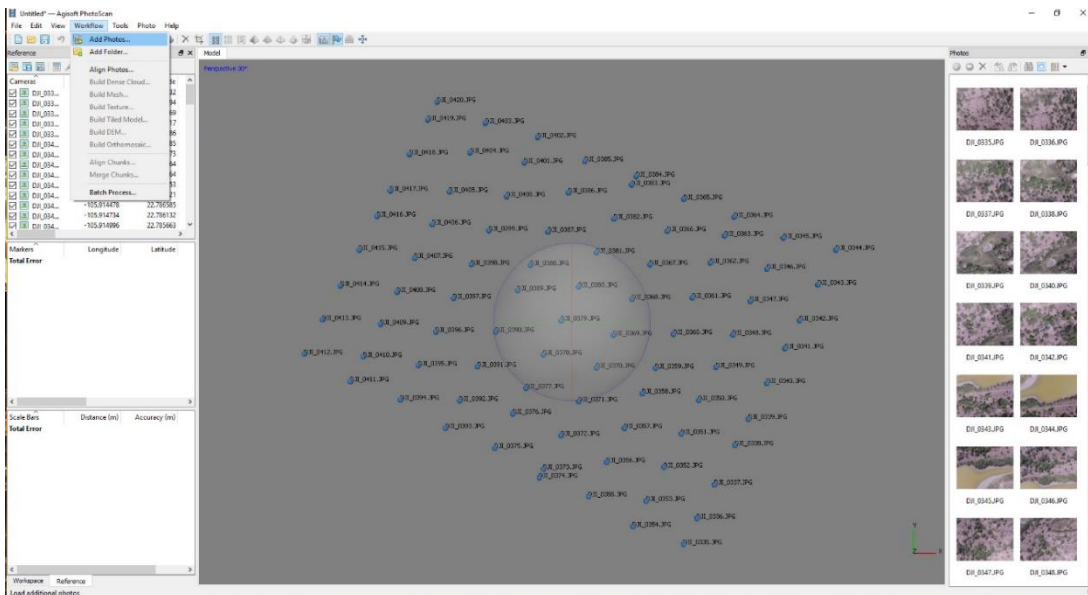


Figura 13. Importando fotografías obtenidas por los vuelos en Agisoft Photoscan.

Nota: Se visualizará de lado izquierdo superior, en la primera ventana, los archivos previamente cargados, donde estos archivos ya tienen datos de georreferencia y la altitud de cada archivo.

Luego se seguirá el paso de alineación de las fotográficas, dando clic a la herramienta “Workflow”, y luego a la opción “Align Photos” (Figura 14). En esta etapa PhotoScan encuentra la cámara. Posición y orientación para cada foto y construye un modelo de nube de puntos dispersos (PhotoScan,2013).

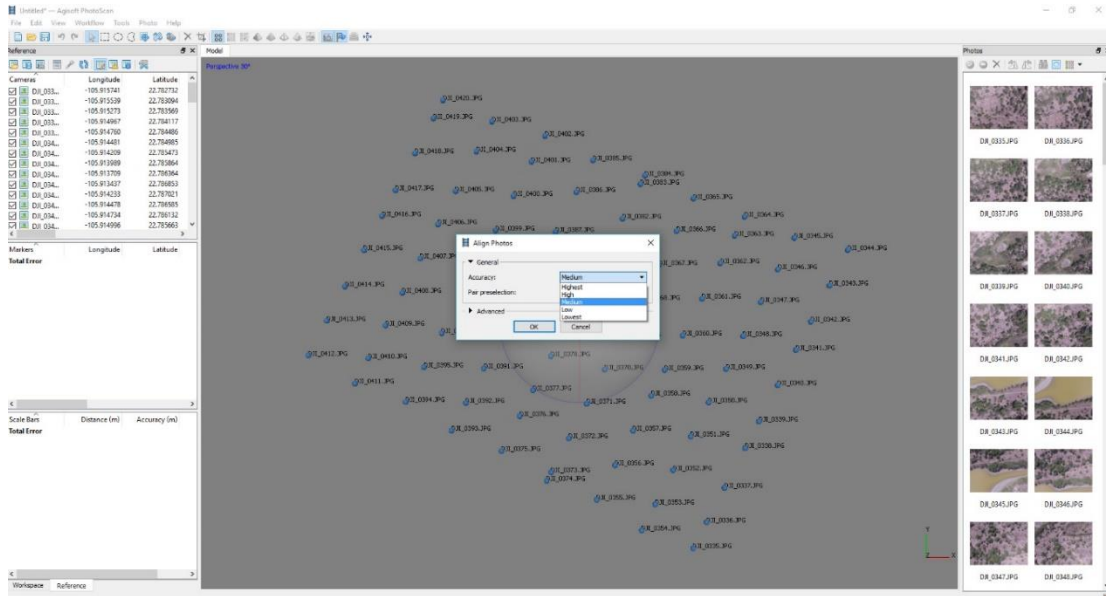


Figura 14. Alineación de fotografías en Agisoft Photoscan.

Una vez seleccionada la función “Align Photos”, se desplegará la ventana de esta opción. Donde luego seleccionamos en los incisos de “Accuracy”, donde establece una configuración de mayor precisión para ayudar a obtener resultados de alineación de fragmentos más precisos, para ello seleccionamos la opción “High”, después, pondremos seleccionado la opción “Generic Preselection” para realizar el modo predeterminado del mapeo genérico; Permite parametrizar texturas atlas, sin mover los incisos de la opción “Advance”, para concluir este paso con clic en OK.

Se procede a construir la malla, para construir una malla vamos a la herramienta “Workflow” y se da clic en la opción “Build Mesh” para la construcción de textura. Una vez dentro de la ventana “Build Mesh”, nos deslizamos a los incisos “Surface Type” esta función establece el tipo de superficie elegir el tipo de superficie arbitraria el cual se utilizar para modelar cualquier tipo de objeto ,para aplicar el método de reconstrucción del campo de Altura (PhotoScan,2013), se pondrá la opción “Height Field” y en opción “Face Count” , se eligió High (10,000), dando clic en OK (Figura 15).

Antes de seguir el proceso de la creación del ortomosaico, se guarda el archivo, dando clic a “File”, opción “Save File”, nombrando el archivo con el nombre, que en este caso se nombraron de acuerdo a la superposición del vuelo en que se adquirió el material fotográfico

Para crear el ortomosaico se dio clic en “Workflow”, luego clic en “Build Orthomosaic”, en esta ocasión no se movieron los parámetros de las opciones en incisos de las opciones de la ventana de “Build Orthomosaic”, si no se dejaron los que ya estaban predeterminados por el programa. Finalizando esta parte dando clic a “OK” (Figura 15).

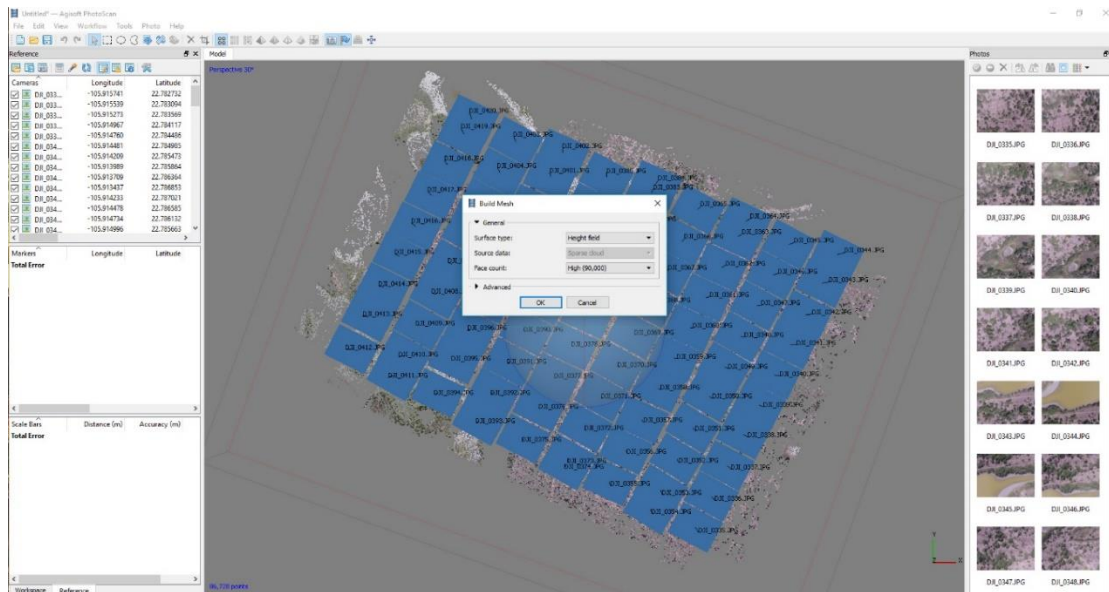


Figura 15. Creando la malla en Agisoft Photoscan.

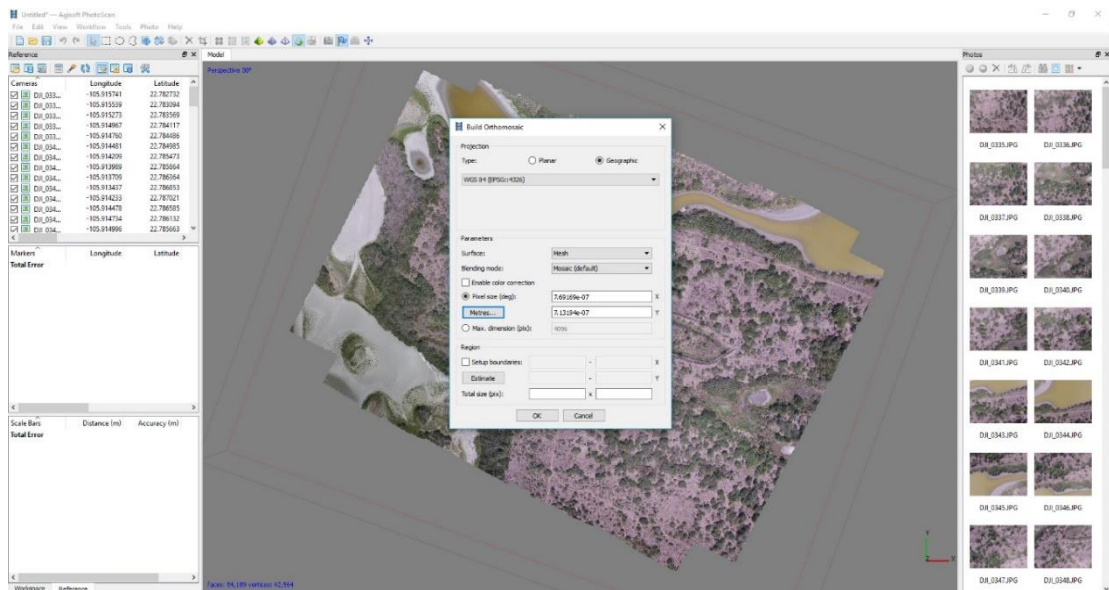


Figura 16. Procesamiento para crear el ortomosaico en Agisoft Photoscan.

Una vez terminado el anterior proceso, se da clic de nuevo a “Workspace”, donde en la lista se encuentra un inciso con nombre “Orthomosaic” dando doble clic en la opción (Figura 16), en el cual se ejecuta el modo de mapeo de ortofoto produciendo una representación de textura aún más compacta en el cual este tiene una calidad de la textura ,dando doble clic en la opción (PhotoScan,2013). Para finalizar el proceso de la creación del Ortomosaico, se dispone a Exportar en algún archivo que pueda trabajar algún programa de Sistemas de Información Geográfica. Para ello, nos vamos a herramienta “File”, luego nos desplazamos a “Export Orthomosaic”, que en este caso elegimos explotarlo como un archivo .KMZ, para ello damos clic a “Export Google KMZ”, y se busca la dirección y el destino donde se quiera guardar cada ortomosaico generado (Figura 17).

Nota: La función Export Orthomosaic, la exportación de ortofotos se utiliza normalmente para generar imágenes de alta resolución basadas en las fotografías de origen y la geometría reconstruida. La aplicación más común es el procesamiento de levantamientos fotográficos aéreos, pero también puede ser útil cuando se requiere una vista detallada del objeto (PhotoScan,2013).

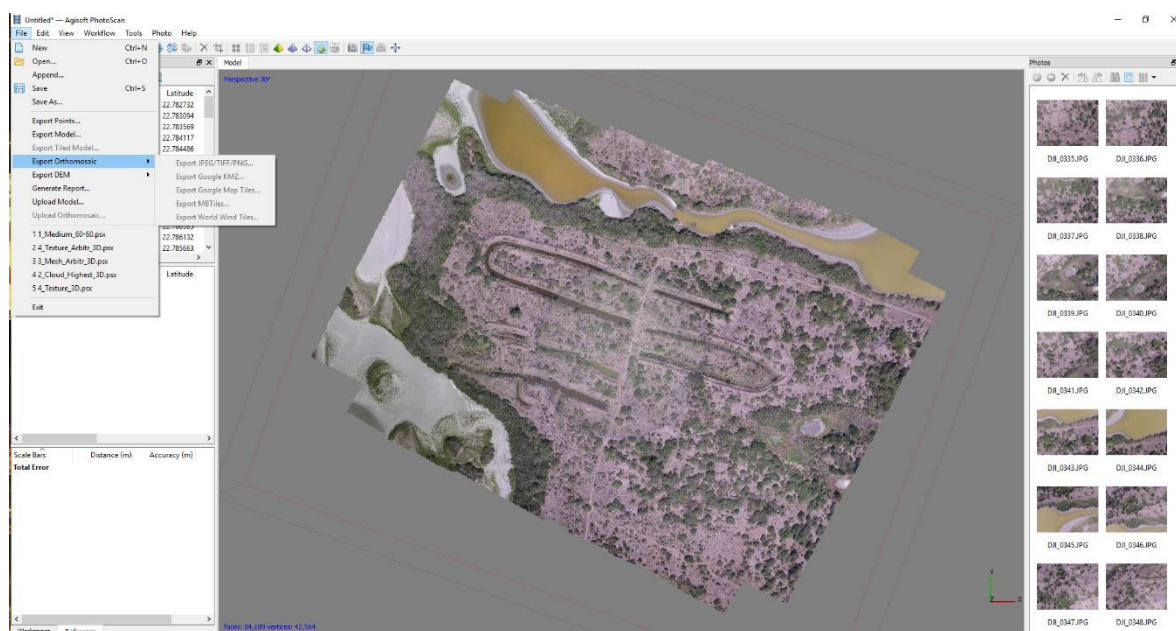


Figura 17. Exportando ortomosaico.

Este mismo proceso se realizó en todos los datos de los vuelos que se realizaron en campo. Teniendo una lista de 21 Ortomosaicos, con diferentes sobreposiciones. Donde en cada procesamiento se midió el tiempo que tardaba en generar casa ortomosaico, esto con el fin de analizar la dinámica en los tiempos dependiendo a la cantidad de información adquirida

y procesada. Como se mencionó anteriormente se decidió medir el tiempo en que se tarda el procesamiento de cada ortomosaico, esto con el fin de analizar el tiempo en que se demoró y destacar las variaciones en su distribución. Se midió el tiempo en que tardo la alineación en las diferentes opciones, médium, high, highest, y también el tiempo en que se generó el ortomosaico con las alineaciones anteriores correspondientes, el aparato con el que se realizó la medición fue un cronometro convencional.

7. RESULTADOS

7.1 Ortomosaicos 2D

El ortomosaico es el producto más esperado en el proceso fotogramétrico, ya que este es una representación cartográfica de las zonas de estudio creada a partir de las fotografías aéreas. Los resultados del procesamiento de los ortomosaicos arrojo un promedio en resolución de 5.2 cm/pixel que lo asigna el programa. Se recopilaron datos aéreos en más de 21 vuelos individuales, donde se cubrió un área de alrededor de 40 ha, produciendo aproximadamente 3,600 imágenes bajo una configuración de operación estándar. El área de estudio se barrió con múltiples vuelos para realizar diversas coberturas con superposiciones distintas, sin aumentar la altura de vuelo en los planes de vuelo, estos se presentan a continuación:



Figura 18. Ortomosaico sobreposición 30-30.



Figura 19. Ortomosaico sobreposición 40-30.



Figura 20. Ortomosaico sobreposición 50-30.

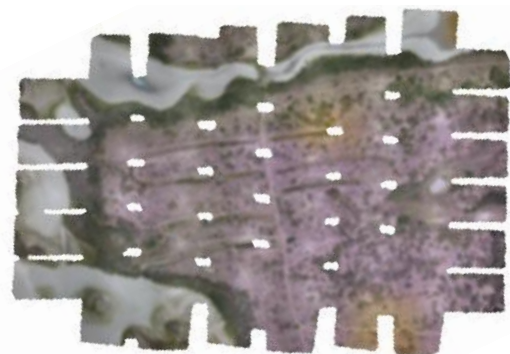


Figura 21. Ortomosaico sobreposición 40-40.



Figura 22. Ortomosaico sobreposición 50-40.



Figura 23. Ortomosaico sobreposición 50-50.



Figura 24. Ortomosaico sobreposición 60-40.

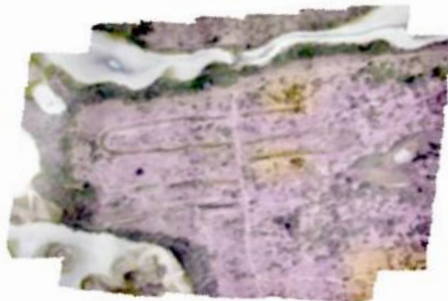


Figura 25. Ortomosaico sobreposición 60-50.



Figura 26. Ortomosaico sobreposición 70-40.

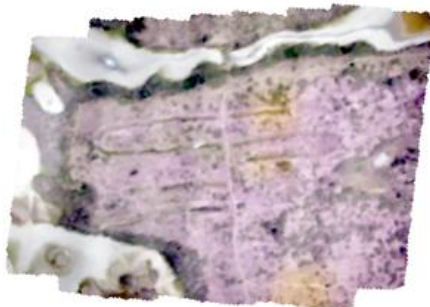


Figura 27. Ortomosaico sobreposición 70-50.



Figura 28. Ortomosaico sobreposición 60-60.



Figura 29. Ortomosaico sobreposición 70-60.

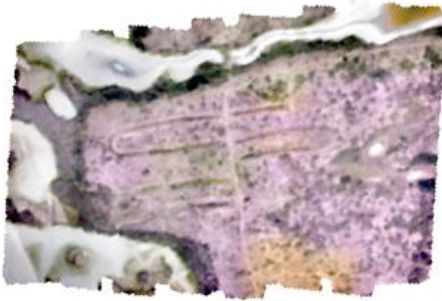


Figura 30. Ortomosaico sobreposición 80-40.

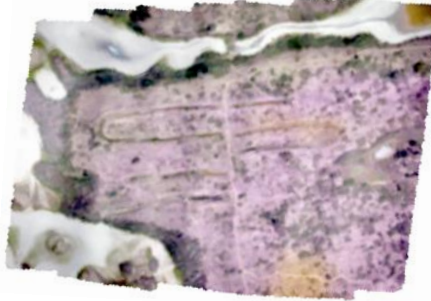


Figura 31. Ortomosaico sobreposición 80-50.

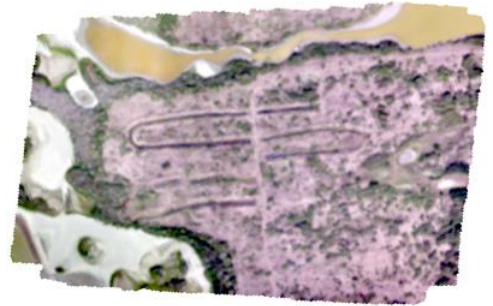


Figura 32. Ortomosaico sobreposición 70-70.

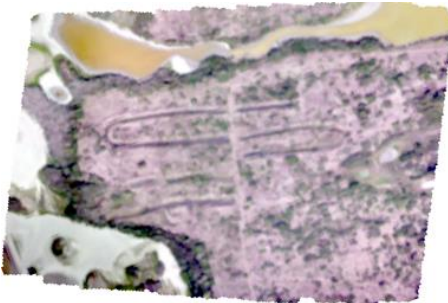


Figura 33. Ortomosaico sobreposición 80-60.



Figura 34. Ortomosaico sobreposición 80-70.



Figura 35. Ortomosaico sobreposición 90-60.



Figura 36. Ortomosaico sobreposición 80-80.



Figura 37. Ortomosaico sobreposición 90-70.



Figura 38. Ortomosaico sobreposición 90-80.

7.2 Tiempo de vuelo

El tiempo de vuelo fue medido y determinado por el programa de plan de vuelo Maps Made Easy, el cual se registró desde el comienzo del despegue hasta que finalizó el vuelo. En la figura 39 se muestra los respectivos tiempos en los 21 vuelos que se hicieron para la recolección de datos, así como también se graficó para observar su distribución de los datos (ver tabla 3, Anexos).

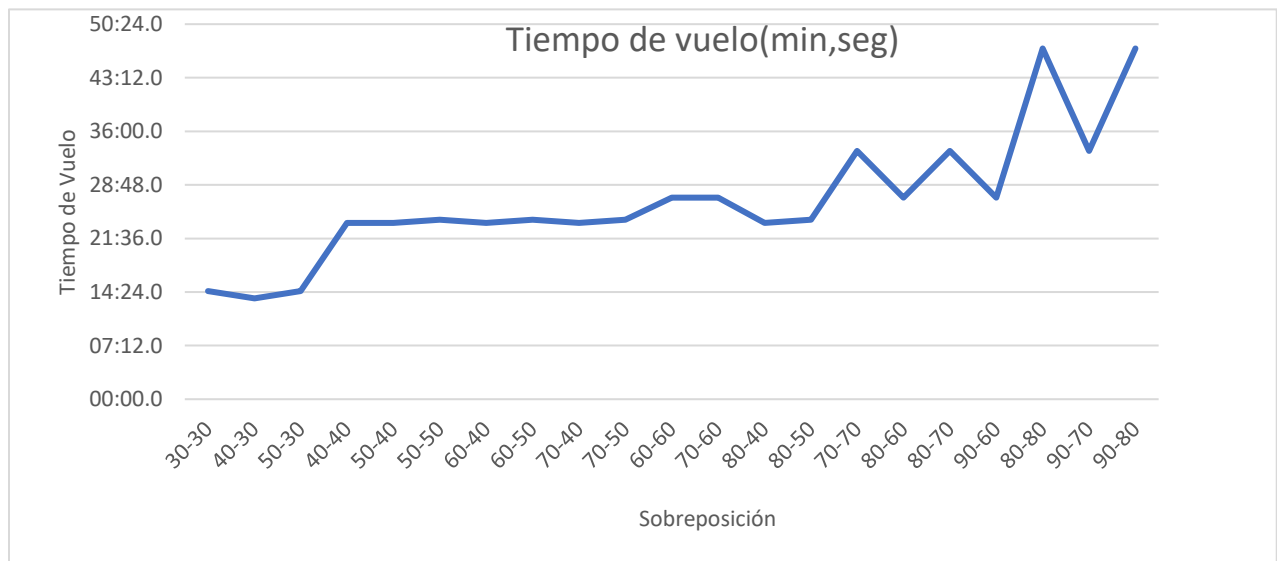


Figura 39. Registro del tiempo de vuelo.

7.3 Tiempo de vuelo

Como resultado de medir el tiempo en que se tarda el procesamiento crear cada ortomosaico y la medición en específico del tiempo del proceso de alineación en las diferentes opciones, médium, high, highest, y también el tiempo en que se generó el ortomosaico con las alineaciones anteriores correspondientes. Los resultados son los que se muestran a continuación tanto en la Figura 40,(ver tabla 4, Anexos).

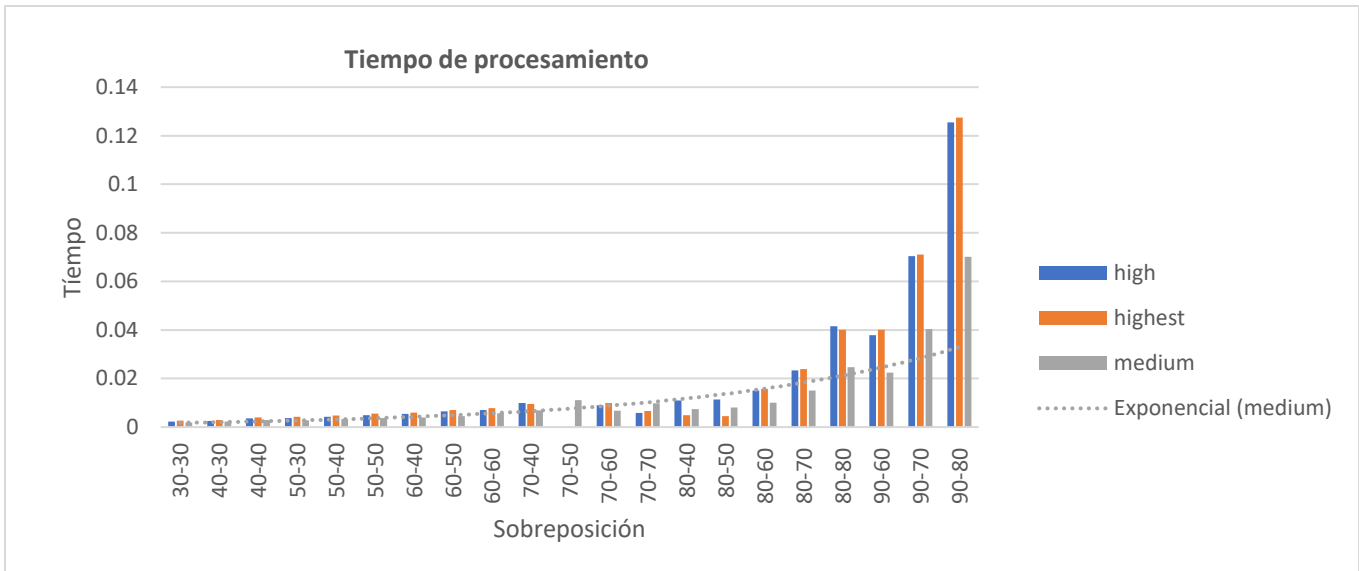


Figura 40. Tiempo en el que tardo el Agisoft Photoscan en procesar cada ortomosaico.

7.4 Número de imágenes

Como resultado de cuantificar el número de imágenes capturadas por cada vuelo en distintas superposiciones, se determinó el vuelo genera una menor cantidad de imágenes, ya que de esto deriva la capacidad de almacenamiento tanto en el UAV como el procesamiento de los ortomosaicos. Los resultados son los que se muestran a continuación Figura 41, (ver tabla 5, Anexos).

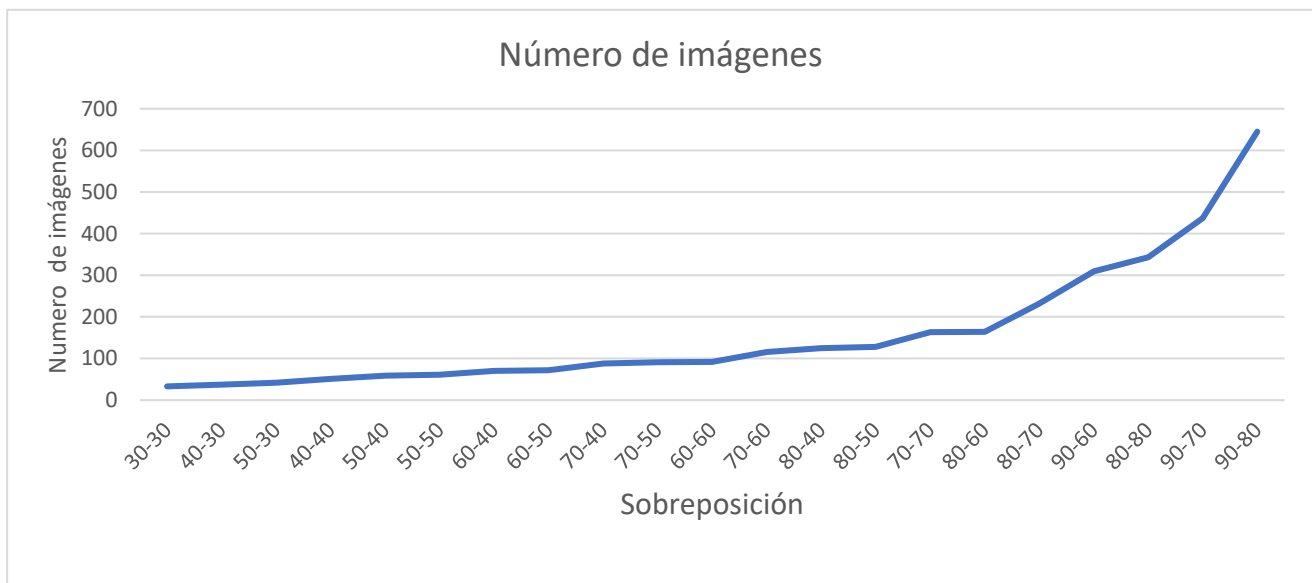


Figura 41. Cantidad de imágenes adquiridas en cada vuelo, con diferentes sobreposiciones.

7.5 Distancia del vuelo

Este fue el resultado de medir la distancia de recorrido de traslado en cada vuelo para determinar el uso de los recursos de energía abordo, resultados son los que se muestran a continuación Figura 42,(ver tabla 6, Anexos).

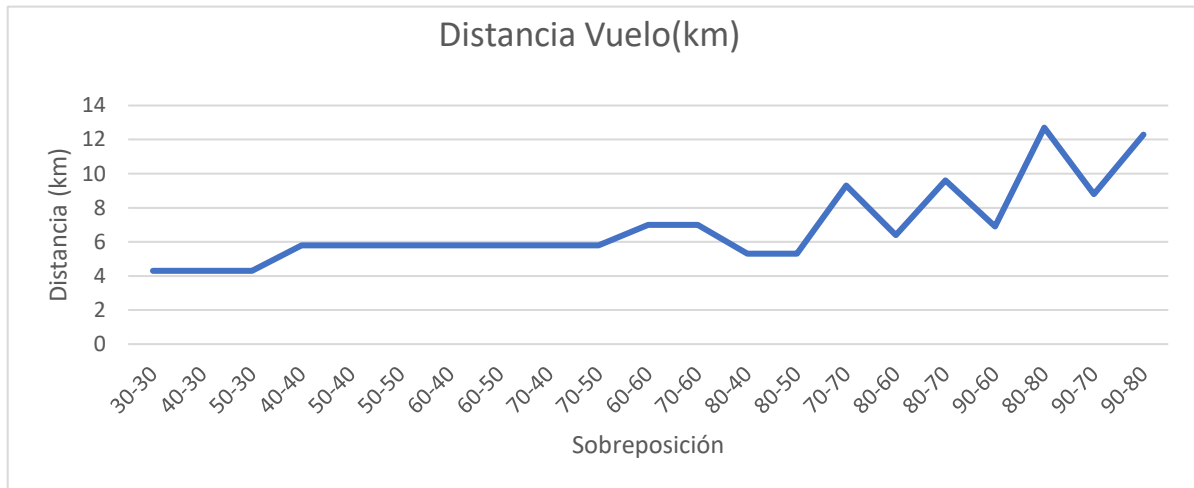


Figura 42. Registro de la distancia que recorrió el UAV en cada vuelo.

8. DISCUSIÓN

La revisión de antecedentes y estudios publicados sobre casos específicos en esta tesis dan elementos claves para establecer un método óptimo del patrón de vuelo para procesar ortomosaicos de alta resolución espacial sobre humedales costeros por medio de UAVs, y dar hincapié en futuras clasificaciones de humedales las cuales dependen de una resolución espacial alta. Existen dos productos principales al usar drones, ortomosaicos en 2D y 3D. Para el primero, no es necesario crear la nube de puntos entre la alineación y la malla. Para el segundo sí es necesaria la nube de puntos. La nube de puntos requiere de un mayor número de imágenes y sobreposiciones. Tomando en cuenta que este no es un objetivo del proyecto PAPIIT, es evidente que de acuerdo a los resultados obtenidos (Figuras 17 al 37), es posible crear ortomosaicos en 2D a mucho mayores sobreposiciones, sin embargo, no se está incrementando información en 2D, únicamente se incrementa el tiempo de vuelo y tiempo de procesamiento. Por tal motivo no es parte de este estudio el cuantificar en 3D la zona piloto. Aunado a lo anterior, la experiencia indica que a pesar de

que es posible adquirir imágenes a una sobreposición mucho mayor a 60-50 en 40 ha, y a pesar de usar una estación de trabajo (Laptop Procesador Intel® Core™ i7, 32GB en memoria, tarjeta gráfica NVIDIA® GeForce® GTX970M y disco solido de 250GB), el programa no es eficiente después de 6 horas de procesamiento al crear la nube de puntos y la memoria no es suficiente para poder procesar la información. Otro punto a considerar, es que, en países en vías de desarrollo como se mencionó anteriormente, es muy poco probable tener las capacidades mínimas necesarias para poder procesar el volumen de información generado por esto UAV en zonas grandes.

Los hallazgos de la revisión bibliográfica muestra que no existe un método sistemático único y generalmente se sugiere usar sobreposiciones altas (80-90%), estos estudios generalmente son en zonas muy pequeñas, como lo comentan Bryson *et al.*, (2017); Getzin *et al.*, (2012); Haala *et al.*, (2013); Harwin & Lucieer., (2012); Kachamba *et al.*, (2017); Lehmann *et al.*, (2017), que se muestran en la tabla 1, donde las capacidades de vuelo y procesamiento son variables, pero son similares las áreas de estudio a la de este trabajo. Por el contrario, no existen estudios con UAV en donde se intente cuantificar la capacidad de estas aeronaves en crear ortomosaicos en 2D para posibles clasificaciones de suelo en áreas grandes, como, por ejemplo, Long *et al.*, (2016), realizaron un modelo de elevación, en playa, cubriendo un área de aproximadamente 400 ha (Tabla 2) Es por esto que la óptima determinación de adquirir series de imágenes es variable, ya que no existe un método sistemático para adquirir y procesar imágenes. El establecerla, para vuelos autónomos, todo depende del usuario (altura, sobreposición, plataforma) por lo que el objetivo de esta investigación consistió en crear un método óptimo para adquirir y procesar el mínimo número de imágenes y tiempo de vuelo en 2D.

Este trabajo conllevó capturar y procesar información con el UAV Phantom 3 pro, de manera que se determinó la altura y sobreposición ideal de vuelo autónomo para poder abarcar un área considerable con un número mínimo de imágenes, así como también encontrar un tiempo de procesamiento adecuado para la generación de ortomosaicos con una resolución de calidad (5.2 cm/pixel). Así mismo, se determinó una planeación de vuelo con diversas sobreposiciones, esto con una revisión bibliográfica en la cual se encontró que la mayoría de estudios solo se enfocan en realizar vuelos con pocas sobreposiciones en cada vuelo, así como también generar modelos más sofisticados, con sensores que realizan modelos de elevación o modelos en 3D, esto también por la limitante en cuanto a las características técnicas de los UAVs. Delimitando un área de estudio en el cual de 40 ha de las 200 ha del proyecto PAPIIT.

Se realizó el análisis de datos en cuanto a las características de cada vuelo, relacionado a un plan de vuelo pro sobreposición, especificando que en cada vuelo se cuantificara la Distancia de Vuelo (km), el Tiempo de Vuelo (min,seg), Numero de imágenes generadas, Procesamiento en GB, así como el tiempo de procesamiento en gabinete.

Con base en los resultados de esta tesis, el tiempo de vuelo y tiempo de procesamiento de la información variaron considerablemente dependiendo de la sobreposición del patrón de vuelo para generar ortomosaicos en dos dimensiones. Lo anterior arroja un vuelo óptimo en la sobreposición 60-50%, en el cual se registra en la tabla 6 (ver Anexos). Dando un resultado de distancia recorrida de 5.8 km, un tiempo de vuelo de 24mins,8 segundos, generando 72 imágenes y 0.36 GB de almacenamiento. Teniendo así el tiempo de procesamiento de alineación y creación del ortomosaicos, un tiempo en Medium 6:29 mins, High 9:18 mins y high 10:08. Encontrando tanto visualmente como analíticamente que la sobreposición 60-50 era el óptimo a 120 metros (el ortomosaico está en la Figura 25 en la sección de resultados). De hecho, sobreposiciones mayores solamente generan un tiempo mayor de procesamiento y vuelo, mientras que sobreposiciones menores no alcanzan a generar un ortomosaico completo del área piloto.

Debido a que los métodos de adquisición de fotografías aéreas son muy específicos dependiendo la implementación y las necesidades de los proyectos, se encontró en la bibliografía antes mencionada que debido a las características técnicas de los UAVs son dinámicos y dependiendo de las especificaciones del sensor abordo se encontró que en cada artículo existen variaciones en cuanto al modelo de visualización en modelos de imágenes 2D y 3D, dando diferencias en la planeación de vuelos, en la altura que al que se realizaron los vuelos, el tipo de área a visualizar, y el tipo de terreno . Encontrando que la efectivamente la generación de imágenes con forme a la sobreposición es importante, puesto que de esto se genera la cantidad de imágenes, el tiempo, de vuelo, la distancia recorrida, y en el tiempo de procesamiento, todo esto en cuanto a la generación y visualización de ortomosaicos.

En paralelo, es necesario utilizar un GPS de alta precisión para establecer la localización (geográfica) de cada punto. El fin último es establecer una correspondencia entre lo que se ve en las fotos y la coordenada geográfica precisa de aquello que se ve.

Es evidente que los GCP son necesarios en ortomosaicos en 2D y 3D cuando los objetivos consisten en la construcción de infraestructura tales como ingeniería civil donde se debe tener una corrección geográfica con precisión de centímetros con GPS diferenciales. Sin

embargo, se considera que la precisión que se obtuvo de aproximadamente 6 m, es suficiente para propósitos de conservación si consideramos el obtener un ortomosaico georeferido automáticamente sin necesidad de realizar un reconocimiento puntual con GCP en 200 ha. Esto no quiere decir que los GCP no son necesarios para otro tipo de objetivos y métodos donde la precisión espacial es sumamente importante tales como análisis de geomorfología costera (línea de costa) o modelos digitales de superficie.

Esto sin duda conlleva una dinámica interesante y a la vez muy compleja en la optimización de la adquisición de datos con los sistemas de UAVs, sin embargo gracias a los resultados obtenidos en este trabajo se cumplieron tanto el objetivo general, como los particulares, encontrando que la resolución de 5.2 cm/pixel, con un vuelo de 120 m y con una velocidad 3 m/s, se determinó que existe un comportamiento exponencial, donde entre mayor sea la sobreposición, cuando mayor es la distancia de vuelo, tiempo de vuelo, número de imágenes y almacenamiento.

9. CONCLUSIÓN

Para realizar este proyecto con implementación de UAV, el plan de vuelo es el paso inicial, ya que es aquí en donde se define la altura de vuelo, se delimita el área de estudio y se especifica el traslape de cada vuelo para generar las fotografías requeridas, todo esto en función del producto que se desea obtener, el cual en esta tesis fue generar ortomosaicos.

La aplicación para dispositivos móviles Maps Made Easy es una herramienta útil para elaborar planes de vuelo de UAVs ya que permite definir los parámetros de altura y velocidad de vuelo, porcentaje de traslape de fotografías, guardar y editar planes de vuelo para trabajar sin conexión a internet, establecer el mayor uso posible de cada batería durante el vuelo, y además cuenta con un indicador de la calidad de señal entre el control remoto y el dron para que este no pierda la conexión. Todas estas particularidades favorecen a una sencilla operación de UAV y al manejo de la aplicación. Así también se establecieron los mismos parámetros de procesamiento de imágenes en el programa Agisoft PhotoScan, esto con el fin de determinar el patrón de vuelo óptimo para cuantificar ortomosaicos sobre humedales costeros por medio de un sistema UAV, con el cual no tenga pérdida de datos, sea de poco tiempo de procesamiento y tenga una calidad de resolución óptima para poder mapear el área de 40 ha del área de estudio. En donde el ortomosaico

es el producto más esperado en el proceso fotogramétrico, ya que este es una representación cartográfica de las zonas de estudio creada a partir de las fotografías aéreas. A nivel general el procedimiento que más tiempo tuvo el programa en procesar son vuelos con sobreposiciones superiores a 60% longitudinal y lateral mayor 50% en incrementos de 10% para obtener los datos mínimos para generar un ortomosaico sobre el área de estudio. La calidad visual de los ortomosaicos procesados en Agisoft PhotoScan si presentan diferencias visualmente, debido al tiempo de vuelo, tiempo de procesamiento, resolución espacial, número de imágenes generadas y número de gigabytes generados sobre una misma área de estudio. Donde se encontró que una sobreposición optima del estudio fue de 60/50%. A pesar de ser muy subjetivo este resultado, esto de acuerdo a la tabla 1, no existe un metro sistemático para adquirir y procesar imágenes. Todo depende del usuario (altura, sobreposición, plataforma) por lo que el objetivo de esta investigación consistió en crear un método óptimo para adquirir y procesar el mínimo número de imágenes y tiempo de vuelo en 2D.es, una sobreposición de 60/60% es más que suficiente para los parámetros que son requeridos para un producto de buena calidad. Ya que una sobreposición mayor a 60-60 genera un incremento el número de imágenes sin cambiar el ortomosaico, tiempo de procesamiento, cantidad de almacenamiento.

Esto incrementa substancialmente el costo de operación sobre un área muy pequeña. Es de conocimiento general que los UAV se encuentran entre la frontera de las aeronaves tripuladas y los trabajos de campo por lo que el costo del UAV es inicial y posteriormente el costo disminuye al operarlo, siendo muy útil el uso de estas nuevas herramientas de percepción remota para realizar cartografía de calidad y objetivos específicos para próximos estudios.,

Debido al propósito de esta tesis, el cual forma parte del primer objetivo del proyecto PAPIIT IA1002018. Posteriormente, el método óptimo de vuelo y procesamiento de tesis el presente trabajo servirá como base para el objetivo 2 el cual consiste en generar una corrección geométrica optima con GCP a partir de áreas piloto de 1, 2/5, 5, 10 y 20 ha con 1 a 50 GCP con lonas azules de 1 m². Finalmente, los resultados de esta tesis se utilizarán como base del objetivo 3 el cual cosiste en analizar clasificaciones de humedales costeros por medio de algoritmos de aprendizaje automático correspondientes a una tesis de maestría.

10. REFERENCIAS

- Ambrosia, V. G., & Wegener, S. S. (2009). Unmanned airborne platforms for disaster remote sensing support. In *Geoscience and remote sensing*. InTech
- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.
- Asus. (2019), Especificaciones ASUS ROG G751JT RAPTOR2, [Hhttps://www.asus.com/mx/ROG-Republic-Of-Gamers/ASUS_ROG_G751JT_RAPTOR2_H/specifications/](https://www.asus.com/mx/ROG-Republic-Of-Gamers/ASUS_ROG_G751JT_RAPTOR2_H/specifications/)
- Barry, P., & Coakley, R. (2013). Field accuracy test of RPAS photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 1.
- Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722-738.
- Brunier, G., Fleury, J., Anthony, E. J., Pothin, V., Vella, C., Dussouillez, P., ... & Michaud, E. (2016). Structure-from-Motion photogrammetry for high-resolution coastal and fluvial geomorphic surveys. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 22(2), 147-161.
- Bryson, M., Duce, S., Harris, D., Webster, J. M., Thompson, A., Vila-Concejo, A., & Williams, S. B. (2016). Geomorphic changes of a coral shingle cay measured using kite aerial photography. *Geomorphology*, 270, 1-8.
- Bueche, F. J. (2007). *Física general/por Frederick J. Bueche y Eugene Hecht(10ª. ed.). Serie Schaum.México.*
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to remote sensing. Guilford Press.
- Carrivick, J. L., Smith, M. W., Quincey, D. J., & Carver, S. J. (2013). Developments in budget remote sensing for the geosciences. *Geology Today*, 29(4), 138-143
- Casado, M. R., Gonzalez, R. B., Kriechbaumer, T., & Veal, A. (2015). Automated identification of river hydromorphological features using UAV high resolution aerial imagery. *Sensors*, 15(11), 27969-27989.
- Casella, E., Collin, A., Harris, D., Ferse, S., Bejarano, S., Parravicini, V., ... & Rovere, A. (2017). Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs*, 36(1), 269-275.
- Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C. P., Casella, M., Ferrari, M., & Firpo, M. (2016). Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 36(2), 151-163.
- Chabot, D., Dillon, C., Ahmed, O., & Shemrock, A. (2016). Object-based analysis of UAS imagery to map emergent and submerged invasive aquatic vegetation: a case study. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 5(1), 27-33.
- Chikhradze, N., Henriques, R. F., Elashvili, M., Janelidze, Z., Bolashvili, N., & Lominadze, G. (2015). Close range photogrammetry in the survey of the coastal area geoecological conditions (on the Example of Portugal).

- Chirayath, V., & Earle, S. A. (2016). Drones that see through waves—preliminary results from airborne fluid lensing for centimetre-scale aquatic conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 237-250.
- Chisholm, R. A., Cui, J., Lum, S. K., & Chen, B. M. (2013). UAV LiDAR for below-canopy forest surveys. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 1(01), 61-68.
- Chisholm, R. A., Cui, J., Lum, S. K., & Chen, B. M. (2013). UAV LiDAR for below-canopy forest surveys. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 1(01), 61-68.
- Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección espacial. Ed. Rialp. Madrid.
- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 260, 4-15.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97 Citado en tesis
- Colwell, R. N. (Ed.), 1983, Manual of Remote Sensing, 2nd Ed., Falls Church: ASPRS.
- Cook, K. L. (2017). An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology*, 278, 195-208.
- Crutsinger, G. M., Short, J., & Sollenberger, R. (2016). The future of UAVs in ecology: an insider perspective from the Silicon Valley drone industry
- Dahl, T.E., 2006. Status and Trends of Wetlands in the Conterminous United States 1998 to 2004. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service Publication, 112p.
- Dandois, J. P., & Ellis, E. C. (2013). High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment*, 136, 259-276.
- DJI. (2019). Phantom 3 Pro, especificaciones. <https://www.dji.com/mx/phantom-3-pro/info#specs>
- Estes, J., & Jensen, J. (1998). Development of remote sensing digital image processing systems and raster GIS. The history of geographic information systems, ed. T. Foresman, 163-80.
- Floreano, D., & Wood, R. J. (2015). Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*, 521(7553), 460.
- Flynn, K. F., & Chapra, S. C. (2014). Remote sensing of submerged aquatic vegetation in a shallow non-turbid river using an unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing*, 6(12), 12815-12836.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Fraser, B., & Congalton, R. (2018). Issues in Unmanned Aerial Systems (UAS) data collection of complex forest environments. *Remote Sensing*, 10(6), 908.
- Frey, J., Kovach, K., Stemmler, S., & Koch, B. (2018). UAV Photogrammetry of Forests as a Vulnerable Process. A Sensitivity Analysis for a Structure from Motion RGB-Image Pipeline. *Remote Sensing*, 10(6), 912.

Getzin, S., Wiegand, K., & Schöning, I. (2012). Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 397-404.

Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101-111.

Goodbody, T. R., Coops, N. C., Hermosilla, T., Tompalski, P., & Crawford, P. (2017). Assessing the status of forest regeneration using digital aerial photogrammetry and unmanned aerial systems. *International Journal of Remote Sensing*, 1-19.

Guo, Q., Su, Y., Hu, T., Zhao, X., Wu, F., Li, Y., ... & Zheng, Y. (2017). An integrated UAV-borne lidar system for 3D habitat mapping in three forest ecosystems across China. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2954-2972.

Gutiérrez, C. P., & Nieto, Á. L. M. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. carlos perez.

Haala, N., Cramer, M., & Rothermel, M. (2013). Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 4-6.

Hardin, P. J., & Hardin, T. J. (2010). Small-Scale Remotely Piloted Vehicles in Environmental Research. *Geography Compass*, 4(9), 1297-1311.

Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573-1599.

Honkavaara, E., Markelin, L., Rosnell, T., & Nurminen, K. (2012). Influence of solar elevation in radiometric and geometric performance of multispectral photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing*, 67, 13-26.

Hughenoltz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., ... & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (2005). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6(4), 359-378.

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (2005). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6(4), 359-378.

ICGeo, & Ingeniería Civil Y Geología. (n.d.). Para que sirve el traslape en la fotogrametría con Drones. Retrieved February 24, 2018, from <http://www.icgeo.org/2018/02/para-que-sirve-el-traslape-en-la.html>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). "Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Escuinapa, Sinaloa"

Jaakkola, A., Hyypä, J., Kukko, A., Yu, X., Kaartinen, H., Lehtomäki, M., & Lin, Y. (2010). A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for tree measurements. *ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(6), 514-522.

James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F3).

Javernick, L., Brasington, J., & Caruso, B. (2014). Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. *Geomorphology*, 213, 166-182.

Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Edición 2015.

Jensen, John R. 2014. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. Pearson Education Limited.

Kachamba, D. J., Ørka, H. O., Næsset, E., Eid, T., & Gobakken, T. (2017). Influence of plot size on efficiency of biomass estimates in inventories of dry tropical forests assisted by

Klemas, V. (2011). Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. *Journal of Coastal Research*, 27(3), 418-427

Klemas, V. V. (2015). Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: An overview. *Journal of Coastal Research*, 31(5), 1260-1267.

Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5(2), 121-132.

Korpela, I., Heikkinen, V., Honkavaara, E., Rohrbach, F., & Tokola, T. (2011). Variation and directional anisotropy of reflectance at the crown scale—Implications for tree species classification in digital aerial images. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 2062-2074.

Laliberte, A. S., & Rango, A. (2011). Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft over arid rangelands. *GIScience & Remote Sensing*, 48(1), 4-23.

Lehmann, J. R., Prinz, T., Ziller, S. R., Thiele, J., Heringer, G., Meira-Neto, J. A., & Buttschardt, T. K. (2017). Open-source processing and analysis of aerial imagery acquired with a low-cost unmanned aerial system to support invasive plant management. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 44

Long, N., Millescamp, B., Guillot, B., Pouget, F., & Bertin, X. (2016). Monitoring the topography of a dynamic tidal inlet using UAV imagery. *Remote Sensing*, 8(5), 387.

Lu, B., & He, Y. (2018). Optimal spatial resolution of Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired imagery for species classification in a heterogeneous grassland ecosystem. *GIScience & Remote Sensing*, 55(2), 205-220.

Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, 38(1), 97-116.

Map made easy.(2019).MapPilot. <https://www.mapsmadeeasy.com/>,
<https://support.dronesmadeeasy.com/hc/en-us/articles/115005873186-Show-Image>

Marcaccio, J. V., Markle, C. E., & Chow-Fraser, P. (2016). Use of fixed-wing and multi-rotor unmanned aerial vehicles to map dynamic changes in a freshwater marsh. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4(3), 193-202.

Masip, J. G. (2015). Maxwell: la teoría electromagnética de la luz. *Arbor*, 191(775), 265.

- Mather, P. M., & Koch, M. (2011). Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. John Wiley & Sons.
- Morris, J.T.; Sundareshwar, P.V.; Nietch, C.T.; Kjerfve, B., and Cahoon, D.R., 2002. Responses of coastal wetlands to rising sea level. *Ecology*, 83, 2869–2877.
- Noe, G. B., & Zedler, J. B. (2001). Variable rainfall limits the germination of upper intertidal marsh plants in southern California. *Estuaries*, 24(1), 30-40
- Ortega-Farías, S., Ortega-Salazar, S., Poblete, T., Kilic, A., Allen, R., Poblete-Echeverría, C., ... & Sepúlveda, D. (2016). Estimation of energy balance components over a drip-irrigated olive orchard using thermal and multispectral cameras placed on a helicopter-based unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 8(8), 638.
- Pádua, L., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Sousa, J. J., Peres, E., & Morais, R. (2017). UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2349-2391.
- Peralta-Carreta, C., Solórzano, J. V., de Oca, A. F. M., & Gallardo-Cruz, J. A. (2016). Sistemas aéreos pilotados de forma remota y clasificación orientada a objetos: un acercamiento al análisis submétrico de una zona periurbana. *Revista Ecosistemas*, 25(1), 90-93.
- Pérez-Alberti, A., & Trenhaile, A. S. (2015). An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 105-111.
- PhotoScan, A. (2013). Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0. 0. St. Petersburg: Agisoft LLC.
- Ritter, B. A. (2014). Use of unmanned aerial vehicles (UAV) for urban tree inventories (Doctoral dissertation, Clemson University).
- Rosete, F., Sánchez, J., & Bocco, G. (2003). El sistema automatizado de evaluación de tierras. *Las Enseñanzas de San Juan: Investigación Participativa para el Manejo de Recursos Naturales*, 437-471.
- Rosnell, T., & Honkavaara, E. (2012). Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadrocopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors*, 12(1), 453-480.
- Ruggles, S., Clark, J., Franke, K. W., Wolfe, D., Reimschiessel, B., Martin, R. A., ... & Hedengren, J. D. (2016). Comparison of SfM computer vision point clouds of a landslide derived from multiple small UAV platforms and sensors to a TLS-based model. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4(4), 246-265.
- Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. *The Ohio State University, Columbus*, 106.
- Shahbazi, M., Théau, J., & Ménard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing*, 51(4), 339-365
- Tian, J., Wang, L., Li, X., Gong, H., Shi, C., Zhong, R., & Liu, X. (2017). Comparison of UAV and WorldView-2 imagery for mapping leaf area index of mangrove forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 61, 22-31.

- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5), 1392-1410.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., & Turner, D. (2012). Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing*, 4(6), 1519-1543.
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., & Turner, D. (2012). Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing*, 4(6), 1519-1543.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.
- Whitehead, K., & Hugenholtz, C. H. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: a review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2(3), 69-85.
- Whitehead, K., & Hugenholtz, C. H. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: a review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2(3), 69-85.
- Whitehead, K., Hugenholtz, C. H., Myshak, S., Brown, O., LeClair, A., Tamminga, A., ... & Eaton, B. (2014). Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: Scientific and commercial applications. *Journal of unmanned vehicle systems*, 2(3), 86-102.
- Xiao, X., Wang, J., Huang, J., & Ye, B. (2018). A new approach to study terrestrial yardang geomorphology based on high-resolution data acquired by unmanned aerial vehicles (UAVs): A showcase of whaleback yardangs in Qaidam Basin, NW China. *Earth and Planetary Physics*, 2(5), 398-405.
- Yu, X., Liu, Q., Liu, X., Liu, X., & Wang, Y. (2017). A physical-based atmospheric correction algorithm of unmanned aerial vehicles images and its utility analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 3101-3112.
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, 13(6), 693-712.

11. ANEXOS

Superposición	Tiempo Vuelo (min:seg)
30-30	14:33.0
40-30	13:33.0
50-30	14:33.0
40-40	23:41.0
50-40	23:41.0
50-50	24:08.0
60-40	23:41.0
60-50	24:08.0
70-40	23:41.0
70-50	24:08.0
60-60	27:04.0
70-60	27:04.0
80-40	23:41.0
80-50	24:08.0
70-70	33:21.0
80-60	27:04.0
80-70	33:21.0
90-60	27:04.0
80-80	47:08.0
90-70	33:21.0
90-80	47:08.0

Sobreposición a 120 m	Aliniación (2.6cm/0.026m)	Align (mm:ss)	Ortho (mm:ss)	Total de Align y Ortho (mm:ss)
30-30	medium	00:00:37	00:02:08	00:02:45
	high	00:01:10	00:02:08	00:03:18
	highest	00:01:40	00:02:08	00:03:48
40-30	medium	00:00:48	00:02:26	00:03:14
	high	00:01:20	00:02:20	00:03:40
	highest	00:01:56	00:02:20	00:04:16
50-30	medium	00:00:57	00:02:29	00:04:03
	high	00:01:42	00:02:32	00:05:22
	highest	00:02:20	00:02:19	00:06:03

40-40	medium	00:01:13	00:03:01	00:04:14
	high	00:02:15	00:02:56	00:05:11
	highest	00:02:59	00:02:45	00:05:44
50-40	medium	00:01:34	00:03:15	00:04:49
	high	00:02:50	00:03:12	00:06:02
	highest	00:03:44	00:03:04	00:06:48
50-50	medium	00:01:22	00:03:01	00:05:16
	high	00:02:52	00:03:03	00:07:08
	highest	00:03:36	00:03:00	00:08:02
60-40	medium	00:02:15	00:03:36	00:05:43
	high	00:04:05	00:03:30	00:07:44
	highest	00:05:02	00:03:32	00:08:32
60-50	medium	00:02:07	00:03:27	00:06:29
	high	00:04:14	00:03:20	00:09:18
	highest	00:05:00	00:03:22	00:10:08
70-40	medium	00:03:02	00:03:51	00:09:52
	high	00:05:58	00:03:20	00:14:20
	highest	00:06:46	00:12:04	00:13:45
70-50	medium	00:07:04	00:08:56	00:16:00
	high	00:00:00	00:00:00	00:00:00
	highest	00:00:00	00:00:00	00:00:00
60-60	medium	00:03:21	00:04:48	00:08:09
	high	00:06:00	00:04:08	00:10:08
	highest	00:07:29	00:03:46	00:11:15
70-60	medium	00:05:20	00:04:26	00:09:46
	high	00:08:38	00:04:19	00:12:57
	highest	00:10:04	00:04:14	00:14:18
80-40	medium	00:06:01	00:04:37	00:10:38
	high	00:11:00	00:04:43	00:15:43
	highest	00:01:41	00:05:20	00:07:01
80-50	medium	00:06:35	00:05:00	00:11:35
	high	00:11:20	00:05:00	00:16:20
	highest	00:01:34	00:05:00	00:06:34
70-70	medium	00:08:57	00:05:06	00:14:03
	high	00:03:06	00:05:18	00:08:24
	highest	00:04:29	00:05:05	00:09:34
80-60	medium	00:09:18	00:05:12	00:14:30
	high	00:16:36	00:05:05	00:21:41
	highest	00:17:38	00:04:59	00:22:37
80-70	medium	00:15:29	00:06:15	00:21:44
	high	00:27:30	00:06:03	00:33:33

	highest	00:28:19	00:06:00	00:34:19
90-60	medium	00:24:43	00:07:30	00:32:13
	high	00:47:07	00:07:23	00:54:30
	highest	00:50:11	00:07:35	00:57:46
80-80	medium	00:27:29	00:07:58	00:35:27
	high	00:51:54	00:07:50	00:59:44
	highest	00:50:11	00:07:35	00:57:46
90-70	medium	00:48:22	00:09:42	00:58:04
	high	01:31:46	00:09:36	01:41:22
	highest	01:32:49	00:09:35	01:42:24
90-80	medium	01:28:00	00:13:01	01:41:01
	high	02:47:30	00:13:10	03:00:40
	highest	02:50:00	00:13:30	03:03:30

Superposición	Numero de imágenes
30-30	33
40-30	37
50-30	42
40-40	51
50-40	59
50-50	61
60-40	70
60-50	72
70-40	88
70-50	91
60-60	92
70-60	116
80-40	125
80-50	128
70-70	163
80-60	164
80-70	232
90-60	309
80-80	343
90-70	437
90-80	645

Superposición	Distancia Vuelo(km)
30-30	4.3
40-30	4.3
50-30	4.3
40-40	5.8
50-40	5.8
50-50	5.8
60-40	5.8
60-50	5.8
70-40	5.8
70-50	5.8
60-60	7
70-60	7
80-40	5.3
80-50	5.3
70-70	9.3
80-60	6.4
80-70	9.6
90-60	6.9
80-80	12.7
90-70	8.8
90-80	12.3

Superposición	Distancia Vuelo(km)	Tiempo Vuelo(min,seg)	Número imágenes	Procesamiento (GB)
30-30	4.3	14:33.0	33	0.16
40-30	4.3	13:33.0	37	0.18
50-30	4.3	14:33.0	42	0.21
40-40	5.8	23:41.0	51	0.25
50-40	5.8	23:41.0	59	0.29
50-50	5.8	24:08.0	61	0.3
60-40	5.8	23:41.0	70	0.35
60-50	5.8	24:08.0	72	0.36
70-40	5.8	23:41.0	88	0.44
70-50	5.8	24:08.0	91	0.45
60-60	7	27:04.0	92	0.46
70-60	7	27:04.0	116	0.6
80-40	5.3	23:41.0	125	0.62
80-50	5.3	24:08.0	128	0.64
70-70	9.3	33:21.0	163	0.81

80-60	6.4	27:04.0	164	0.82
80-70	9.6	33:21.0	232	1.16
90-60	6.9	27:04.0	309	1.52
80-80	12.7	47:08.0	343	1.71
90-70	8.8	33:21.0	437	2.18
90-80	12.3	47:08.0	645	3.21