



UNIVERSIDAD DEL MAR

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE NIDADAS EN SEGMENTOS DE ARRIBADAS DE TORTUGA GOLFINA (*Lepidochelys olivacea*), POR MEDIO DE UN SISTEMA AÉREO PILOTADO REMOTAMENTE (RPAS) Y SU RESPUESTA CONDUCTUAL FRENTE AL RPAS EN PLAYA ESCOBILLA, OAXACA

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS: ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA

Biol. Mar. SERGIO ISAÍAS GUTIÉRREZ CRUZ

DIRECTOR

M. en C. SAMANTHA G. KARAM MARTÍNEZ

CO-DIRECTOR

M.A.I.A. EDUARDO J. RAMÍREZ CHÁVEZ

Puerto Ángel, Oaxaca, México

Diciembre, 2019

Resumen

La tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), presenta una distribución circuntropical, desde los océanos Pacífico, Índico y Atlántico, por lo cual se considera la especie de tortuga marina de mayor abundancia en el mundo. Presenta anidaciones solitarias y en arribada, tiene hábitos de desove nocturnos, pero durante las arribadas puede anidar durante el día. Para estimar el número de nidadas en playas de arribada, se utiliza el método del transecto por franjas en un tiempo fijo, pero dicho método es cada vez más demandante. Por tal motivo, se propuso evaluar los alcances y limitaciones de implementar un RPAS en playa Escobilla para estimar el número de nidadas en secciones de arribada, así como para realizar conteos automatizados de tortuga golfina en ortomosaicos, incluyendo su respuesta conductual durante cuatro etapas del proceso de anidación, en un intento por lograr un monitoreo poblacional más eficiente, práctico y económico. Se realizaron seis vuelos con el RPAS y se capturaron 1,475 imágenes. Dichas imágenes fueron procesadas con el software Agisoft PhotoScan y se obtuvieron seis ortomosaicos georreferenciados de la playa. En cuatro ortomosaicos se realizó un conteo automatizado (Picterra©2019) y se comparó con el conteo directo (CD) de la CONANP, pero no se encontraron diferencias significativas entre estos. En dos ortomosaicos, se estimó el número de nidadas a partir de la probabilidad de éxito de anidación y del número de tortugas. Se describieron cuatro etapas del proceso de anidación y se identificaron reacciones de respuesta ante la presencia del RPAS. Por otro lado, la probabilidad de que una tortuga detectara al RPAS fue mayor a una altura de 5 m que a una de 15 m y fue más probable que lo detectara mientras la tortuga ascendía sobre la playa. Se concluye que es posible implementar un RPAS como método alternativo para el conteo de tortugas golfinas y para la estimación del número de nidadas en arribadas a partir de imágenes aéreas, además se probó que la tortuga golfina en proceso de anidación, puede percibir y reaccionar a la presencia de un RPAS, pero la respuesta dependerá de la altura y de la forma de abordarlas.

Palabras clave: comportamiento, imágenes aéreas, número de nidadas, monitoreo poblacional, percepción remota.

Abstract

Olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*), is distributed in circumtropical areas, in the Pacific, Indian, and Atlantic oceans, which is why it is considered the most abundant sea turtle species in the world. It has solitary nestings, 'arribadas', and nocturnal spawning habits; however, during arribadas it can nest during the daytime. To estimate the number of clutches on arribada beaches, 'strip transect surveys' are used over a fixed time, but this method can be demanding. For this reason, it was proposed to evaluate the scope and limitations of implementing an RPAS in Escobilla beach to estimate the number of clutches in arribada sections, as well as to perform automated turtle counts in orthomosaics, as well as considering their behavioral response during four distinct stages of the nesting process, in an attempt to achieve more efficient, practical and economic population monitoring. Six flights were made with the RPAS and 1,475 images were captured. These images were processed with Agisoft PhotoScan software and six georeferenced orthomosaics from the beach were obtained. In four orthomosaics, an automated count was made (Picterra©2019) and compared with the direct count method (DC) of the CONANP, but no significant differences were found between these. In two orthomosaics, the number of clutches was estimated by considering the rate of nesting success and the number of turtles. Four stages of the nesting process were described and turtle response reactions to the RPAS were also considered. On the other hand, the probability that a turtle detected the RPAS was greater at a height of 5m than at a height of 15m and was more likely to detect it while the turtle climbed the beach. It is concluded that it is possible to implement an RPAS as an alternative method to count olive ridley turtles and estimate the number of clutches per arribada from aerial images, it was also proved that the olive turtle can perceive and react to the presence of an RPAS, but the response will ultimately depend on the height of the RPAS and the way the RPAS approach the turtles.

Keywords: behavior, aerial images, number of clutches, population monitoring, remote perception.

Toda persona tiene muchos sueños y metas a cumplir en la vida y yo no soy diferente. Mis decisiones y circunstancias me han permitido vivir y disfrutar cada una de mis experiencias y aventuras, hoy estoy culminando más que una meta, una aventura. Nunca soñé o desee un grado más, pero sucedió en el momento y tiempo oportuno, lo cual me permitió entender que soy capaz de realizar todo lo que me proponga y más. Pero, este logro no hubiese sido posible de realizar, sin mi querida familia, cada uno de ustedes me han apoyado en un sinfín de maneras, sin ustedes todo se hubiese complicado y tal vez truncado. Les debo todo su esfuerzo y apoyo incondicional, para poder cumplir esta aventura y solo quiero decir ¡gracias!

A mis padres

Roque y Tayde, lo que soy es gracias a ustedes, no tengo palabras para expresar mi, amor, admiración, respeto y agradecimiento. Y como una muestra de mi infinito aprecio y gratitud por toda una vida de esfuerzos y sacrificios, deseo de todo corazón que mi triunfo como hijo, hombre y profesionista lo sientan como suyo.

A mis hermanos

Nunca es tarde para continuar con sus sueños, metas o aventuras, sigan siempre adelante y no se detengan por mucho tiempo, el límite no es el cielo, son sus ganas de creer y crecer.

A mis abuelas

Chalo, gracias por todo el amor, cariño y ternura, mucho de lo que soy y siento es gracias a ti, te debo mucho en todos los sentidos y te quiero siempre.

Lena, creo que te faltó heredarme más de tu sentido del humor, pero en cambio siempre has visto por mí y por cada uno de mis hermanos.

¡Gracias!

Con amor y respeto.

Sergio.

Agradecimientos

Sin duda alguna, debo agradecer a tres pilares fundamentales que me permitieron desarrollar mi tema de tesis, a la UMAR campus Puerto Ángel, por brindarme la oportunidad de una aventura más en mi haber profesional. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por haberme proporcionado una beca (No.867874) de estudios de posgrado, sin este apoyo definitivamente no habría logrado finalizar la maestría. Así también, al Centro Mexicano de la Tortuga (CMT), que me proporciono información vital para desarrollar mi investigación.

Definitivamente un agradecimiento muy especial a mis directores de tesis; M. en C. Samantha G. Karam, gracias por todo el apoyo, enseñanzas y consejos, me llevo un buen sabor de boca respecto a mi trabajo de tesis. M.A.I.A. Eduardo Ramírez, gracias por la enseñanza y el reto de pilotear un RPAS y por mostrarme una nueva forma de hacer ciencia desde las alturas, mil gracias a ambos por confiar en mi capacidad para desarrollar este bonito tema de tesis.

A mis revisores, muchas gracias por su tiempo, apoyo y sugerencias; M. en C. Alberto Montoya, muchas gracias por su apoyo, tanto en campo, como en la parte divertida de la estadística. Dra. Valentina Islas, gracias por todo, aunque el inicio fue complicado, ahora le tengo un gran aprecio, muchas gracias por Fláxio. Dra. Elizabeth Labastida, gracias por formar parte de mi comité revisor, quien lo diría tenemos mucho en común, al menos en cuanto amigos y colegas.

Agradezco rotundamente a las responsables del Santuario Playa Escobilla de la CONANP, Biól. Erika Peralta y Biól. Tere Luna, por todas las facilidades y recomendaciones para la toma de datos en campo, su apoyo fue fundamental para lograr concluir esta tesis, muchas gracias.

Finalmente, sin ustedes dos no sé qué habría sido de mí en campo, gracias a ustedes logre tomar mis datos en tiempo y forma, mil gracias Biól. Carlos Tamayo y Maricarmen Santiago.

Por último, Dr. Pedro Cervantes, gracias por todo su apoyo, sus enseñanzas, consejos, críticas y especialmente por sus materias.

Índice	Página
1. Introducción	1
1.1 <i>La tortuga golfina en México.....</i>	<i>2</i>
1.2 <i>Comportamiento de anidación</i>	<i>3</i>
1.3 <i>Arribadas y sus señales precursoras</i>	<i>4</i>
1.4 <i>Métodos de estimación de nidadas.....</i>	<i>5</i>
1.5 <i>RPAS, imágenes aéreas y ortomosaicos.....</i>	<i>7</i>
2. Antecedentes	9
3. Justificación.....	12
4. Preguntas de investigación e hipótesis.....	13
5. Objetivos	13
5.1 <i>General.....</i>	<i>13</i>
5.2 <i>Particulares.....</i>	<i>14</i>
6. Material y métodos	14
6.1 <i>Área de estudio</i>	<i>14</i>
6.2 <i>Método</i>	<i>16</i>
6.3 <i>Vuelo del RPAS para la toma de imágenes aéreas</i>	<i>17</i>
6.4 <i>Construcción de ortomosaicos a partir de imágenes aéreas.....</i>	<i>18</i>
6.5 <i>Conteo en ortomosaicos vs. conteo directo (CD) CONANP.....</i>	<i>21</i>
6.6 <i>Modelo de estimación de nidadas a partir de ortomosaicos.....</i>	<i>23</i>
6.7 <i>Nidadas reportadas por la CONANP</i>	<i>24</i>
6.8 <i>Respuesta conductual</i>	<i>25</i>
6.9 <i>Probabilidad de percepción del RPAS durante el proceso de anidación.....</i>	<i>27</i>
7. Resultados	28
7.1 <i>Vuelo del RPAS y sus características</i>	<i>28</i>
7.2 <i>Procesamiento de imágenes y construcción de ortomosaicos</i>	<i>30</i>
7.3 <i>Conteo de tortugas en ortomosaicos</i>	<i>34</i>
7.4 <i>Comparación de métodos de conteo</i>	<i>34</i>
7.5 <i>Estimación del número de nidadas</i>	<i>35</i>
7.6 <i>Respuesta conductual de la tortuga golfina al RPAS.....</i>	<i>36</i>
7.7 <i>Percepción del RPAS por parte de la tortuga golfina.</i>	<i>39</i>
7.8 <i>Probabilidad de la tortuga golfina de percibir el vuelo del RPAS.....</i>	<i>41</i>
8. Discusión.....	42

8.1	<i>Implementación de un RPAS</i>	42
8.2	<i>Toma de imágenes aéreas y construcción de ortomosaicos</i>	44
8.3	<i>Comparación de métodos de conteo</i>	46
8.4	<i>Estimación del número de nidadas en ortomosaicos</i>	47
8.5	<i>Respuesta conductual de la tortuga golfina ante el RPAS</i>	48
9.	Conclusiones	51
10.	Recomendaciones	52
11.	Referencias bibliográficas	55
12.	Anexos	64

Índice de figuras	Página
1. Playa Escobilla	14
2. RPAS (Mavic Pro)	16
3. Zona de despegue del RPAS	17
4. Plan de vuelo del RPAS	18
5. Procesamiento de las imágenes	19
6. Flujo de trabajo del software Agisoft Photoscan.....	19
7. Procedimiento para toma de videos de respuesta conductual	26
8. MRCN.....	28
9. Precipitación de lluvia mensual promedio (línea sólida).	29
10. Velocidad del viento mensual promedio (línea sólida).	30
11. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 03/10/18.	32
12. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 02/12/18.	32
13. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 02/12/18.	32
14. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 03/12/18.	33
15. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 30/12/18.	33
16. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 27/01/19.	33
17. Comparación de conteos de tortugas en playa	35
18. a) Percepción del RPAS. b). Conducta de respuesta de tortugas.....	39

19. Número de tortugas que percibieron o no el RPAS a dos alturas de vuelo.....	40
20. Etapas de anidación y número de tortugas que reaccionaron ante el RPAS ..	40
21. Gráfico del MRCN, RPAS a 5 m de altura y a 15 m de altura.	41
22. Gráfico del MRCN, etapas del proceso de anidación.....	42

Índice de tablas	Página
I. Características y condiciones de los planes de vuelo del RPAS.....	29
II. Imágenes capturadas y filtradas por vuelo.....	31
III. Características y condiciones de los ortomosaicos.	31
IV. Resultados de conteo de tortugas en playa.....	34
V. Estimación de número de nidadas en dos ortomosaicos.....	36
VI. Descripción de la conducta de la tortuga golfina.....	37
VII. Respuestas conductuales de la tortuga golfina frente a un RPAS.....	38

Índice de Anexos	Página
I. Permiso de "Aprovechamiento no extractivo"	64
II. Sistema Aéreo Pilotado Remotamente (RPAS)	65
III. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 03/10/18.	67
IV. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 02/12/18	68
V. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 02/12/18.....	69
VI. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 03/12/18.	70
VII. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 30/12/18.	71
VIII. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 27/01/19.	72

1. Introducción

Durante las últimas décadas, las tortugas marinas han pasado de ser especies de pesca comercial, a especies protegidas, su protección se debe a los diferentes beneficios que proporcionan a los océanos y a las costas en las que anidan (Márquez 1996). Para México significan un importante recurso natural, por su valor biológico, ecológico, cultural, científico, recreativo y económico sustentable (Peralta & Luna 2016).

El control poblacional que las tortugas marinas ejercen sobre otros organismos marinos y su aporte a la salud de los diferentes ecosistemas (arrecifes, praderas de pastos marinos), es incalculable; sus beneficios no se limitan al medio marino sino que influyen el medio terrestre sobre las playas en las que anidan año tras año, aportando nutrientes (por la descomposición de huevos), proporcionando alimento (al morir en la playa) a las diferentes especies depredadoras (mamíferos, aves, crustáceos) y removiendo toneladas de arena de esas playas (Márquez 1996).

La tortuga golfina, *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz 1829), es considerada la especie de tortuga marina de mayor abundancia en el mundo (Limpus 1995), su distribución es circumtropical, abarca los océanos Pacífico, Índico y Atlántico (Varo-Cruz *et al.* 2015). La principal característica que diferencia al género *Lepidochelys* del resto de las tortugas marinas, es el comportamiento de anidación, que puede ser de manera solitaria como las demás especies o de manera sincrónica y en grandes números; a este fenómeno se le conoce como arribada o arribazón (Márquez 2002, Plotkin 2007). La tortuga golfina es de hábitos de desove nocturnos, pero durante las arribadas pueden anidar durante el día, esta especie tiene preferencia por playas abiertas, que se encuentren aisladas y que presenten una leve pendiente, las cuales pueden estar limitadas por cuerpos de agua dulce o salobre (Márquez 2002).

1.1 La tortuga golfina en México

La tortuga golfina es una de las siete especies de tortugas marinas que se reproducen y anidan en las costas de México, en la costa del Pacífico mexicano existen tres playas de anidación en arribada: Playa Escobilla y Morro Ayuta en Oaxaca (Peñaflores *et al.* 1998), e Ixtapilla en Michoacán (Abreu-Grobois 1999).

Durante 25 años (1965 - 1990), la tortuga golfina representó el 90% del total de la pesca legal e ilegal de tortugas marinas en México, seguida de la tortuga prieta *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758), con un 3% y la tortuga laúd *Dermochelys coriacea* (Vandelli 1761), con un 2% (Márquez 2000). El 1° de junio de 1990, el ejecutivo federal decretó la veda total e indefinida en nuestro país, a partir de esa fecha se ha registrado un incremento específicamente de las poblaciones de tortuga golfina, la cual sea a reflejado en un mayor número de arribazones por temporada (Peralta & Luna 2016). Sin embargo, 29 años después de la veda total en México, las diferentes especies de tortugas marinas, incluyendo la tortuga golfina, aún se encuentran en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF 2010) y la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN 2017).

A partir de la veda decretada por el gobierno federal a la pesca comercial de tortugas marinas en México, en playa Escobilla se ha registrado un incremento considerable de las anidaciones por temporada, de 1997 a 1998 se registraron 900,000 nidadas (Peñaflores *et al.* 1998), mientras que en la temporada 2015-2016 se registraron 1,191,364 nidadas (Peralta & Luna 2016). Debido al considerable incremento de anidaciones que se reportan en playa Escobilla por temporada, sus registros son de suma importancia para México (Peñaflores *et al.* 2001) y probablemente para el mundo (Valverde *et al.* 2012). Esta playa cuenta con registros continuos de arribadas desde 1973 (46 años ininterrumpidos de registros), los cuales sirven como referencia para determinar la tendencia poblacional histórica de la tortuga golfina, por tal motivo la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas, la considera una playa índice en México (CIT 2014).

1.2 Comportamiento de anidación

Diferentes autores (Hailman & Elowson 1992, Spotila 2004, Lindborg *et al.* 2019) afirman que el proceso de anidación de las tortugas marinas caguama (*Caretta caretta*, Linnaeus, 1758) y prieta (*Chelonia mydas*) comprende entre siete y diez etapas, la mayoría de estas etapas son similares: 1) emergencia de la tortuga del mar, 2) desplazamiento o ascenso sobre la playa, 3) búsqueda del sitio ideal para anidar, 4) ligero enterramiento del cuerpo en la arena, 5) elaboración de nido (cavar), 6) desove, 7) tapado de nidada, 8) ocultamiento del nido o camuflaje, 9) descenso y 10) regreso al mar. La duración de la anidación depende de cada especie, de acuerdo con Hailman & Elowson (1992), la tortuga caguama requiere de aproximadamente una hora, mientras que la tortuga golfina requiere de aproximadamente 45 minutos, dependiendo de los obstáculos sobre la playa (Peralta & Luna 2016). Por otro lado, el ancho de la playa y el periodo de mareas pueden influir en el tiempo de anidación de la tortuga verde de entre 99 a 213 minutos (Lindborg *et al.* 2019).

De acuerdo con Spotila (2004) y Lindborg *et al.* (2019) el proceso de anidación pasa por etapas o momentos que involucran el sentido del tacto. Todo inicia cuando la tortuga emerge del mar, se desplaza por la playa en búsqueda de un sitio ideal para iniciar su anidación, una vez encontrado el sitio adecuado, con sus aletas delanteras remueve vegetación y escombros que pudieran estar presentes en dicho sitio. Posteriormente, con movimientos continuos de sus cuatro aletas entierra su cuerpo algunos centímetros dentro de la arena, acto seguido con solo las aletas traseras inicia la excavación del nido, con un ciclo de movimientos alternados de su aleta derecha e izquierda, removiendo, recogiendo y expulsando arena fuera del nido hasta darle una forma de cántaro, el tacto de sus aletas dentro del nido determina la forma correcta de la cámara de anidación y detiene el ciclo de movimientos de sus aletas traseras. Posteriormente, coloca sus aletas traseras a un costado del nido a manera de cubrirlo, y después de unos segundos, inicia el desove, el número de huevos desovados y el tiempo requerido dependen de la especie. Al concluir la puesta,

comienza a cubrir el nido con arena, utilizando y alternando una vez más las aletas traseras, una vez cubierto el nido, prosigue con la compactación de la arena presionando con las aletas y utilizando el peso de su cuerpo, para finalmente ocultar su nido a modo de camuflaje arrojando arena con las aletas delanteras, a la par de un ligero avance y movimientos laterales, para finalmente concluir con el descenso por la playa y regresar al mar.

Se tienen pocos registros de estudios sobre conducta de anidación en tortugas marinas que permitan examinar y detallar su comportamiento de anidación, mediante la identificación de sus distintos patrones de acción modal que permitan hacer descripciones etológicas. Uno de estos estudios fue realizado por Hailman & Elowson (1992), quienes proporcionaron un etograma de anidación de la tortuga caguama, identifican 50 patrones de acción distintos que componen 10 etapas de anidación. Recientemente, Lindborg *et al.* (2019) realizaron un etograma del comportamiento de anidación de la tortuga verde, describiendo nueve patrones de acción modal e identifican siete etapas de anidación, además, describen la existencia de transiciones entre el momento cuando la tortuga entierra ligeramente el cuerpo dentro de la arena y cuando inicia con la excavación del nido.

No todas las tortugas que emergen del mar tienen una anidación exitosa, pueden subir, buscar un sitio ideal, iniciar la elaboración del nido y abandonar la actividad. Existen diferentes factores que propician esta conducta de abandonar la actividad: 1) derrumbe del nido debido a arena seca, 2) perturbación de su comportamiento, 3) bloqueo de su paso, 4) acercamiento repentino o brusco; provocado por el humano o por la fauna presente en las playas de anidación o 5) simplemente prefiere elegir otro sitio para anidar (Hailman & Elowson 1992).

1.3 Arribadas y sus señales precursoras

A pesar de que uno de los atributos de mayor relevancia de la tortuga golfina, es la anidación en arribada, se desconoce cuáles son las señales, factores o estimulaciones, que podrían estar desencadenando la congregación y anidación

masiva. Bernardo & Plotkin (2007), exponen las diferentes hipótesis que tratan de explicar el comportamiento de arribada.

Una de ellas se centra en los factores o señales meteorológicas, como los vientos intensos, sin embargo, las arribadas pueden ocurrir aún sin la presencia de viento. Las fases lunares o de mareas, son una posible hipótesis que sugiere que las arribadas pueden ocurrir principalmente en cuarto menguante y cuarto creciente, pero según Plotkin (1994) las arribadas de tortuga golfina pueden ocurrir especialmente antes o durante la marea alta. La “facilitación social” es una hipótesis que sugiere que las hembras anidadoras neófitas (las que anidarán por vez primera) siguen a las hembras de mayor experiencia de zonas de alimentación a las zonas de anidación (Bowen *et al.* 1992). Plotkin *et al.* (1995) pusieron a prueba la hipótesis de la facilitación social y descubrieron que la tortuga golfina no obtiene ventajas de esta conducta. Sin embargo, no descartaron la posibilidad de que, una vez congregadas, el principal estimulante sea la presencia en sí de otras tortugas y de esta manera se desencadene la anidación sincrónica (Plotkin 1994). Finalmente, las señales olfativas como hipótesis, parece ser el principal mecanismo sensorial que podría estar regulando las arribadas (Plotkin 1994). Varios autores sugirieron que antes de la arribada, la glándula de Rathke podría liberar o secretar señales olfativas, las cuales podrían estar estimulando la sincronización de las tortugas para iniciar la arribada.

1.4 Métodos de estimación de nidadas

La estimación directa del tamaño poblacional de las diferentes especies de tortugas marinas es casi imposible (por su ciclo de vida y hábitats pelágicos), en sustitución se estima el tamaño de un segmento de la población, generalmente el de las hembras reproductoras. A su vez, el número relativo de hembras reproductoras se obtiene de manera indirecta a través del censo de nidos en playas de anidación solitaria (Gerrodette & Taylor 2000) o mediante métodos que requieren de alguna estrategia de estimación, como ocurre en las playas de arribada (Valverde *et al.* 2012). Estos datos se consideran muy valiosos para

analizar tendencias en la abundancia poblacional a través del tiempo (Gerrodette & Taylor 2000).

Para la estimación del número de nidadas en playas de arribada, se han implementado diferentes métodos y estrategias. El primer método fue propuesto por Márquez & Van Diesel (1982), sin embargo, carece de una medida de variabilidad en sus parámetros estimados y sus intervalos de confianza. En la “Estrategia Mundial para la Conservación de Tortugas Marinas”, publicada en 1995 por el Grupo Especialista en Tortugas Marinas (MTSG por sus siglas en inglés), se señaló la necesidad de un método unificador estandarizado, que permitiera comparar los resultados en diferentes playas de arribada (Eckert *et al.* 2000). A partir de ello, Gates *et al.* (1996) implementaron un método universal denominado transecto por franjas en un tiempo fijo, que actualmente se emplea en todas las playas que presentan anidaciones por arribada. Este método es imparcial, con un mínimo de suposiciones y proporciona estimaciones confiables, que pueden ser comparadas entre diferentes playas de arribada. Los datos recabados se analizan con un programa de cómputo que proporciona un número estimado de hembras anidadoras, intervalos de confianza y coeficiente de variación (Valverde & Gates 2000).

En playa Escobilla se han implementado tres métodos de estimación de nidadas en arribada. El primer método fue propuesto por Márquez & Van Dissel (1982). Posteriormente, a finales de la década de 1990 e inicios de los 2000, se utilizó un método de estimación de nidadas propuesto por Ernesto Albavera-Padilla, del Centro Mexicano de la Tortuga (CMT, com. pers., 2019). Este método consistía en realizar conteos a cada hora (asumiendo que una hembra de tortuga golfina tarda ese tiempo en completar el proceso de anidación) del número total de tortugas sobre la playa, a bordo de una cuatrimoto (ATV, por las siglas en inglés de All-Terrain Vehicle), ese número se multiplicaba por un valor de probabilidad de éxito de anidación (Albavera-Padilla, CMT, com. pers., 2019). Esta probabilidad de éxito de anidación se midió de manera ocasional en 1999 ($P = 0.58$, $n = 357$), 2002 ($P = 0.59$, $n = 618$), 2005 ($P = 0.64$, $n = 114$) y 2007 (P

= 0.43, n = 88) (Albavera-Padilla & Karam-Martínez, CMT, UMAR, com. pers., 2019). Finalmente, el método del transecto por franjas en un tiempo fijo (Valverde & Gates 2000) es el tercer método para la estimación de nidadas y fue implementado a partir de 2008, y se encuentra vigente hasta la fecha en playa Escobilla (Peralta & Luna 2016). Debido al incremento del número de arribadas por temporada, al aumento de su duración y al inmensurable número de nidos que se registran, el método actual de conteo es cada vez más demandante, es decir, requiere un número mayor de personal capacitado e invertir en más horas-hombre en campo (Peralta & Luna 2016).

1.5 RPAS, imágenes aéreas y ortomosaicos

El término RPAS (por las siglas en inglés de Remotely Piloted Aircraft System) o “Sistema Aéreo Pilotado Remotamente” (DGAC 2017) hace referencia a una aeronave pilotada remotamente, que cuenta con un sistema complementario de soporte y operación, como lo son una estación de mando y control en tierra, enlaces de telemetría para comunicación y equipo de navegación, así como mecanismos de lanzamiento y recuperación.

Actualmente, el auge de los RPAS va en aumento, siendo utilizados con mayor frecuencia para la estimación de las densidades poblacionales de diversas especies, tanto marinas como terrestres. No presentan limitantes que restrinjan la investigación como áreas de difícil acceso, especies evasivas, etc. Estos sistemas están modificando, revolucionando y beneficiando la manera de hacer investigación y conservación (Bevan *et al.* 2018).

Además, los RPAS permiten obtener imágenes aéreas de alta calidad y resolución espacial, a partir de las cuales se pueden realizar conteos precisos y confiables para estimaciones poblacionales de vida silvestre (Hodgson *et al.* 2018), se pueden operar en ambientes peligrosos para el investigador, no requieren de tripulación, su respuesta es rápida y autónoma, son fáciles de programar y seguros de controlar (Goebel *et al.* 2015, Escalante-Torrado *et al.* 2016).

Una imagen aérea contiene una gran cantidad de información precisa y confiable, su utilidad radica en la posibilidad de ser resguardadas por largos periodos, además aportan grandes ventajas al investigador durante su examinación, puesto que se elimina el factor de error debido a las irregularidades del terreno y su análisis se ve favorecido (Hodgson *et al.* 2013, Goebel *et al.* 2015).

En la actualidad, la fotogrametría digital y la percepción remota son ampliamente aplicables a los RPAS, tal como lo describen Colomina & Molina (2014) y Escalante-Torrado *et al.* (2016), debido a que mediante esta herramienta se generan principalmente dos productos cartográficos tradicionales: el modelo digital de superficie (DSM, por sus siglas en inglés) y los ortomosaicos georreferenciados, estos productos contienen información detallada de los objetos capturados en las imágenes áreas obtenidas de los sobrevuelos del RPAS.

Un ortomosaico se define como un mosaico constituido por un conjunto o grupo de imágenes que fueron tomadas desde una o varias cámaras a la vez, estas imágenes presentan áreas o parámetros que las relacionan entre sí (traslape), las cuales son unidas y combinadas en una sola imagen, lo que permite ampliar el rango de visión de la escena (posición y orientación), a este mosaico se le corrigen las distorsiones provocadas por el relieve del terreno y los objetos en el mismo (Cheng *et al.* 2007). Debido a las ventajas que ofrecen los ortomosaicos, diferentes autores los han implementado para realizar conteos poblacionales de vida silvestre (Goebel *et al.* 2015, Seymour *et al.* 2017, Linchant *et al.* 2018, Ramos *et al.* 2018).

Durante los últimos años los RPAS están teniendo un auge significativo por su implementación como una herramienta revolucionaria que tiene la capacidad de complementar y mejorar los estudios tradicionales de conservación de vida silvestre (Bevan *et al.* 2015, Sykora-Bodie *et al.* 2018). Aunado a esto, la automatización de los conteos en imágenes aéreas permite un mayor potencial estadístico con resultados rápidos, precisos, confiables, con

estándares de calidad prolongados y con posibilidad de réplica (Hodgson *et al.* 2013, Goebel *et al.* 2015) Por si fuera poco, los RPAS permiten crear nuevos métodos para la evaluación del comportamiento, abundancia y distribución de diferentes organismos, con estándares de calidad elevados y rentables (Bevan *et al.* 2015).

2. Antecedentes

Los estudios poblacionales de vida silvestre a través de métodos tradicionales son herramientas esenciales y de un aporte significativo, pero se enfrentan a diferentes dificultades técnicas, operacionales y principalmente a costos elevados, tal como lo afirman Hodgson *et al.* (2013), Goebel *et al.* (2015) y Sykora-Bodie *et al.* (2018).

Actualmente, los RPAS se están utilizando para estudios poblacionales de diferentes organismos (mamíferos marinos y terrestres, aves y reptiles) con resultados positivos, ya que se ha logrado disminuir el error del conteo poblacional (Hodgson *et al.* 2013, Bevan *et al.* 2015, Seymour *et al.* 2017, Sykora-Bodie *et al.* 2018). Además, el monitoreo con RPAS permite obtener registros de poblaciones de vida silvestre, sin ingresar directamente a las áreas de reproducción, alimentación o áreas ecológicamente sensibles, evitando la perturbación directa asociada a los estudios tradicionales (Hodgson *et al.* 2018).

Hodgson *et al.* (2013), demostraron la utilidad de los RPAS estudiando una población de dugongos *Dugong dugon*, en Shark Bay, al oeste de Australia. Realizaron siete vuelos para cubrir diez transectos con un área total de 1.3 km², capturaron 627 imágenes a partir de las cuales contaron un total de 1,036 dugongos. Los autores, concluyeron que los RPAS proporcionan mayor certeza al monitoreo de diferentes organismos, que en general emergen brevemente o que pueden presentarse en grandes cantidades, factores que podrían limitar el registro de la ubicación del avistamiento y sus abundancias, cuando no se cuenta con este tipo de vehículo aéreo.

En 2015 utilizando un RPAS de ala fija, con sensores térmicos y visión artificial, Seymour *et al.* (2017), registraron marcas térmicas de focas grises *Halichoerus grypus*, recopilando de esta manera datos de la abundancia de esta población. Lograron identificar 3,082 imágenes o marcas térmicas en Nueva Escocia, Canadá. Estos autores concluyeron que entre las grandes aportaciones del uso de RPAS durante los estudios poblacionales de vertebrados marinos, se encuentran la disminución del tiempo de muestreo, la obtención de estimaciones precisas, el acceso a áreas remotas, e incluso, la disminución del riesgo del investigador al realizar estimaciones poblacionales con vehículos aéreos convencionales.

Con respecto a las tortugas marinas, Bevan *et al.* (2015), utilizaron un RPAS para monitorear tortugas lora *L. kempii*, (Garman, 1880) en aguas cercanas a la costa de una playa de anidación en Rancho Nuevo Tamaulipas, México, evaluando la eficacia de un RPAS durante la temporada de anidación 2013 y 2014. Probaron las características de vuelo (estabilidad y facilidad de control) e idoneidad para monitoreo cercano a la costa, calidad de video y capacidad para identificar tortugas (adultas y neonatos), distancia de trabajo del sistema wi-fi para proporcionar video, retraso en el video y duración del tiempo de vuelo por batería. Los resultados indicaron que esta herramienta proporciona un método práctico y efectivo para realizar estudios diurnos en aguas cercanas a la costa para monitorear la abundancia y los movimientos de las tortugas marinas.

En otro estudio, se estimó la densidad poblacional de tortuga golfinia en aguas marinas cercanas a la costa con un RPAS de ala fija, para ello se propuso el método de transecto en banda de 3.03 km² en las costas del océano Pacífico de Costa Rica, logrando identificar 1,091 tortugas (Sykora-Bodie *et al.* 2018). Los autores discutieron la viabilidad del uso de los RPAS para realizar evaluaciones de poblaciones en ubicaciones remotas y de difícil acceso; además de que este tipo de sistema logró registrar una alta densidad poblacional de

tortugas marinas, como la golfina, además, los datos generados pueden ser utilizados para establecer y manejar áreas marinas protegidas.

Un estudio referente a la respuesta conductual fue realizado por Bevan *et al.* (2018), su objetivo principal fue documentar el comportamiento de respuesta ante la presencia de un RPAS del cocodrilo marino (*Crocodylus porosus*) y de charranes crestados (*Thalasseus bergii*). Ellos concluyeron que el umbral de tolerancia y respuesta frente a un RPAS depende de la capacidad de la especie para detectar visual (forma y sombra) o auditivamente (sonido emitido por los rotores) el objeto, así como la altura, forma de acercamiento y tipo de vuelo, puesto que algunas especies tienden a ser más tolerantes o no presentan cambios significativos en su comportamiento.

En cuanto a estudios relacionados con respuestas de conducta con tortugas marinas, Bevan *et al.* (2018) reportó que, en aguas cercanas a la costa la tortuga verde (*C. mydas*) y la tortuga kikila (*Natator depressus*, Garman, 1880), no mostraron comportamientos evasivos (buceo rápido o cambio de dirección) en respuesta a la presencia del RPAS o a su sombra a alturas ≥ 20 m. En zonas de arrecife las tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*, Linnaeus, 1766) y verde (*C. mydas*) no presentaron comportamientos evasivos, como respuesta a la presencia del RPAS o a su sombra a 15 o 30 m de altura, solamente registró que una tortuga carey, respondió (aumentando la fuerza en los golpes de aleta) a la presencia del RPAS a una altura de 9 m, clasificando este respuesta como “respuesta conductual menor”. Mientras que, en playa de anidación, la tortuga kikila no presentó comportamientos evasivos o de abandono por la presencia del RPAS a alturas ≥ 10 m. Además, sugieren que las tortugas marinas adultas y juveniles no pueden detectar visualmente a un RPAS entre alturas que van de 15 a 30 m o posiblemente no perciben al RPAS y/o a su sombra como una amenaza, esto después de realizar acercamientos frontales o dentro de su campo de visión a las tortugas estudiadas.

3. Justificación

El monitoreo de las poblaciones de tortugas marinas es clave para su manejo y conservación a nivel global, su evaluación se realiza a través del conteo de las anidaciones, estos conteos pueden ser directos en anidaciones solitarias, o estimaciones a partir de muestreos durante las arribadas.

La estimación del número de nidadas por arribada se introdujo en playa Escobilla en los años 70, posteriormente fue mejorado por el método de transecto por franjas en un tiempo fijo a partir de 2008. Este método se utiliza en México (en playas como Escobilla y Morro Ayuta, Oaxaca, y en playa Ixtapilla, Michoacán) y a nivel global para la estimación de nidadas en playas de arribada, generando datos confiables y más realistas sobre las poblaciones estudiadas.

Debido al incremento inmensurable del número de arribadas, número de días y de horas de duración de las arribadas en playa Escobilla, el trabajo de campo aplicando el método de transectos por franjas en un tiempo fijo se ha vuelto altamente demandante, es decir, se requiere más personal capacitado e invertir más horas-hombre en campo (Peralta & Luna 2016). Por lo que se plantea la posibilidad de complementar este método de franjas en un tiempo fijo con el uso de un RPAS, para realizar el muestreo de las arribadas en menor tiempo y cubriendo con mayor eficiencia su distribución.

Ya se ha demostrado previamente en estudios poblacionales, la gran efectividad de estas herramientas y han dado buenos resultados para el monitoreo de vida silvestre. Con ello se pretende reducir el tiempo del conteo de nidadas (horas/hombre), disminuir los costos a largo plazo y reducir los riesgos de operación en campo. Sin embargo, es necesario conocer y cuantificar el grado de afectación que los RPAS puedan estar ejerciendo sobre la conducta de las especies bajo estudio. Sin tener conocimiento científico sobre el umbral de tolerancia de la especie estudiada ante un RPAS, los resultados obtenidos podrían estar sesgados y la premisa de minimizar el efecto de la presencia del investigador estaría equivocada (Bevan *et al.* 2018). Por otro lado, por ser una herramienta innovadora los RPAS carecen de marcos éticos y legales, que

determinen de manera correcta su uso en vida silvestre (Rees *et al.* 2018). Por tales motivos, es necesario realizar estudios de comportamiento y reacción de las especies de vida silvestre que son objeto de estudio, para determinar alturas confiables y seguras, que no alteren su comportamiento natural frente a la presencia de los RPAS.

4. Preguntas de investigación e hipótesis

- ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de usar un RPAS, para la estimación del número de nidadas de tortuga golfina?
- ¿La conducta de la tortuga golfina, puede ser influenciada por la presencia de un RPAS durante su proceso de anidación?

La implementación de un RPAS en playa Escobilla, permitirá simplificar los conteos de tortugas marinas a partir de imágenes aéreas y los resultados de estos conteos serán similares a los conteos directos (CD), pero con ciertas ventajas como lo son la réplica y la automatización.

El uso de imágenes aéreas permitirá estimar el número de nidadas de tortugas golfinas, pero es requisito esencial conocer el valor de la probabilidad de éxito de anidación de estas, por lo tanto, el resultado de dichas estimaciones estará a la par de las estimaciones del método de transectos por franjas en un tiempo fijo.

Si el comportamiento de la tortuga golfina es afectado por la presencia de un RPAS durante el proceso de anidación, entonces sus reacciones dependerán de la altura de vuelo y de la forma de abordarlas con el RPAS.

5. Objetivos

5.1 General

Estimar el número de nidadas en segmentos de arribadas y estimar la probabilidad que tiene la tortuga golfina de percibir a un RPAS en playa Escobilla, Oaxaca, durante la temporada de arribada 2018-2019.

5.2 Particulares

- Establecer un marco metodológico para la toma de imágenes aéreas, para el conteo de tortugas en playa y para la estimación de nidadas.
- Comparar el conteo diurno de tortugas en playa, a partir de imágenes aéreas con respecto al conteo directo (CD) que realiza la CONANP.
- Estimar el número de nidadas a partir de imágenes aéreas y cotejar el resultado con el obtenido mediante el método de transectos por franjas en un tiempo fijo.
- Evaluar el efecto del RPAS en el comportamiento de la tortuga golfina durante el proceso de anidación.

6. Material y métodos

6.1 Área de estudio

Playa Escobilla se ubica en el municipio de Santa María Tonameca, en el estado de Oaxaca, comprendiendo una longitud de 15 km (Figura 1), delimitada por el río Cozoaltepec en las coordenadas $15^{\circ}43' 10''$ N, $96^{\circ}45'30''$ W y el río Tonameca $15^{\circ}40'30''$ N y $96^{\circ} 38'00''$ W (INEGI 2014, CONANP 2017).

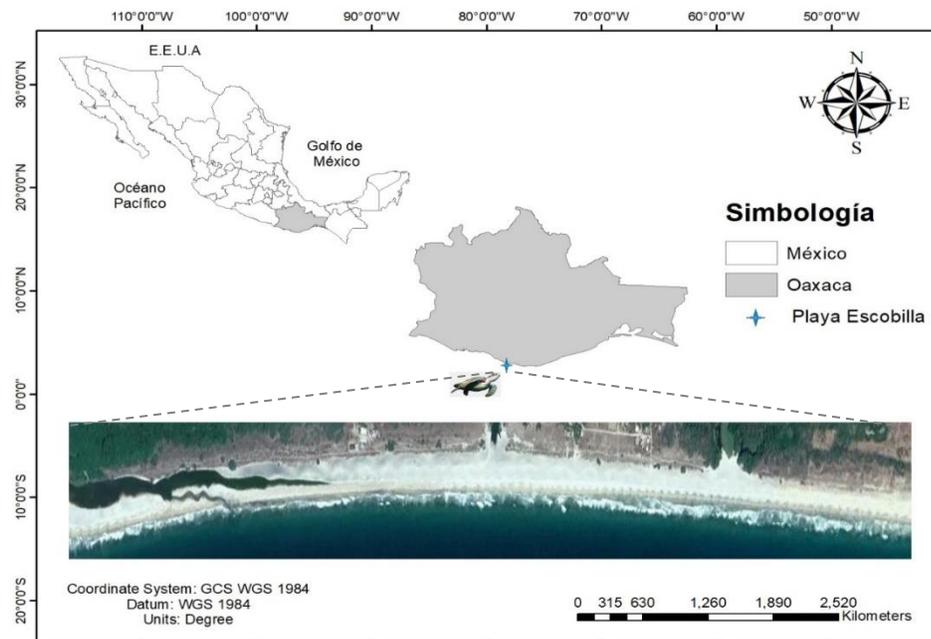


Figura 1. Playa Escobilla, área de anidación de la tortuga golfina en la costa de Oaxaca

De acuerdo con Casas-Andréu (1978), en playa Escobilla se reconocen mareas tipo semidiurno con presencia de dos pleamares y dos bajamares por cada periodo. Por lo que se determina como una playa de elevada energía, con un perfil de playa con erosiones fuertes. El clima regional es cálido subhúmedo, la temperatura media anual es de 26°C a 28°C. Las lluvias son de verano, pueden presentarse generalmente entre mayo y octubre, el promedio anual de lluvias es de 800 mm a 1,000 mm, lo que denota la influencia de ciclones tropicales en esta época (INEGI 2017).

En playa Escobilla se tienen registros de áreas con presencia de manglar, selva mediana caducifolia, matorral espinoso, vegetación de dunas costeras, tular, vegetación flotante y sumergida, palmar, agrupaciones de halófitos, selva baja caducifolia, pastizal y plantación perenne (CONANP 2009). Por otra parte, la fauna presente es de ambiente marino y terrestre, se tienen registradas 113 especies pertenecientes a 94 géneros y 53 familias, siendo las aves la clase de mayor presencia con 36 familias, 73 géneros y 90 especies; además, se han registrado ocho especies de mamíferos marinos, que se encuentran dentro de alguna categoría de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

En octubre de 1986 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el decreto por el que se determina a playa Escobilla en Oaxaca, como zona de reserva y sitio de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control, de la tortuga golfina que anida y desova en dicha playa (DOF 1986, 2013). En 2002, se le dio la categoría de santuario; como zona de reserva y sitio de refugio para protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de la especie (DOF 2002). Actualmente el santuario es administrado por el CMT de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), (DOF 2012).

La reproducción de la tortuga golfina se presenta durante todo el año, el periodo de anidación masiva abarca de 10 a 11 meses, las arribadas de mayor abundancia suceden principalmente entre junio y enero (Peralta & Luna 2016). Las arribadas ocupan los primeros ocho kilómetros de playa, la cual está

marcada en secciones cada 50 m con postes numerados según el kilometraje, cuya función es proporcionar una referencia de ubicación de las arribadas y para el conteo por transectos (CONANP 2017).

6.2 Método

Se realizaron seis vuelos durante la temporada de arribada de la tortuga golfina, de octubre 2018 a enero 2019. Los vuelos se realizaron durante las primeras horas de la mañana entre las 06:00 y 11:00 hr (tres vuelos) y durante la tarde, poco antes del ocaso entre las 16:00 y 19:20 hr (tres vuelos), momentos durante los cuales estuvieron presentes grandes concentraciones de tortuga golfina.

Se utilizó un pequeño RPAS, el Mavic Pro (Figura 2) de DJI (www.dji.com), con un peso de 734 g. Su sistema de transmisión tiene un alcance de 7 km (4.3 millas) y funciona a 2.4 GHz, lo que permite el control de la aeronave y la transmisión de video a un dispositivo móvil a 1080 p. El control remoto permite controlar la cámara, capturar y visualizar fotos y videos, así como controlar el estabilizador. Alcanza una velocidad máxima de 65 km/h (40 mph) y un tiempo máximo de vuelo de 27 minutos. El RPAS utilizó baterías LiPo 3S, con una capacidad de carga de 3,830 mAh, que le permitió un modo de vuelo medio, con una duración de 21 minutos (en vuelo normal, con un 15% restante de carga de la batería). Cuenta con una cámara apoyada por un estabilizador en tres ejes, captura vídeos 4K y fotos de 12 megapíxeles.



Figura 2. RPAS (Mavic Pro) utilizado para la toma de imágenes aéreas en las arribadas.

El RPAS fue controlado utilizando la aplicación DJI GO™ 4, que mostraba información de telemetría del RPAS en tiempo real (altitud, velocidad, distancia, etc.), la cual fue ejecutada en un Smartphone. Los videos utilizados para este estudio tuvieron una calidad de 2.7K: 2720x1530 24p.

Por cada día que duró la arribada, las tortugas emergieron de manera sincrónica durante la tarde, obteniendo su máxima acumulación por la noche y finalmente, durante la mañana del siguiente día inició un descenso del número de hembras anidadoras. Debido a que el RPAS utilizado carece de cámara con visión nocturna o de infrarrojo, los vuelos se limitaron a la parte diurna, de las 06:00 a 11:00 hr y de las 16:00 a las 18:30 hr.

Para realizar los vuelos del RPAS, se contó con el permiso de la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT, oficio SGPA/DGVS/010946/18, de “Aprovechamiento no extractivo” (Anexo I).

6.3 Vuelo del RPAS para la toma de imágenes aéreas

Los vuelos estuvieron sujetos a las condiciones climáticas, solo se realizaron con vientos menores a 20 km/h y en ausencia de lluvia, puesto que, son las dos principales limitantes de los vehículos aéreos no tripulados, en el Anexo II se define que es un RPAS, instituciones regulatorias de su uso y los requerimientos necesarios para operar un RPAS en el espacio aéreo mexicano.

Con la finalidad de obtener mayor eficiencia para cubrir las arribadas y un uso óptimo de la energía del RPAS, se ubicaron zonas de despegue (Figura 3). Estas zonas permitieron cubrir aproximadamente 600 m de vuelo hacia la izquierda y 600 m a la derecha (1,200 m), este proceso se repitió para todos los vuelos realizados durante las arribadas en la playa Escobilla.

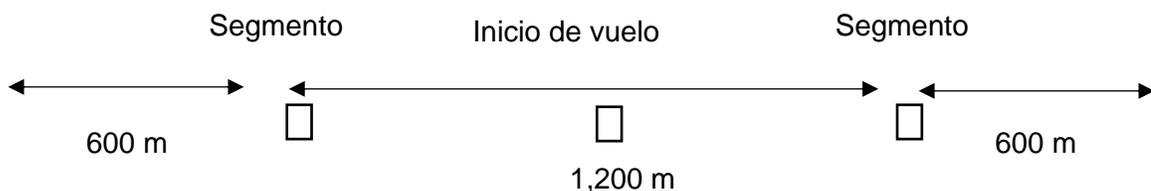


Figura 3. Zona de despegue del RPAS, ubicada a la mitad de la longitud total de la arribada.

La aplicación DroneDeploy, permitió estructurar y ejecutar los planes de vuelo (Figura 4), además de ajustar la altitud y el traslape (áreas de coincidencia) de las imágenes, y en automático determinó la velocidad de vuelo necesaria para obtener imágenes aéreas con una resolución de 2.5 cm/píxel. Se requirió de un vuelo en forma de “S” paralelo a la línea de costa, el cual se ajustó a un área promedio de 0.18 km² (\pm 0.04 DE o Desviación Estándar).

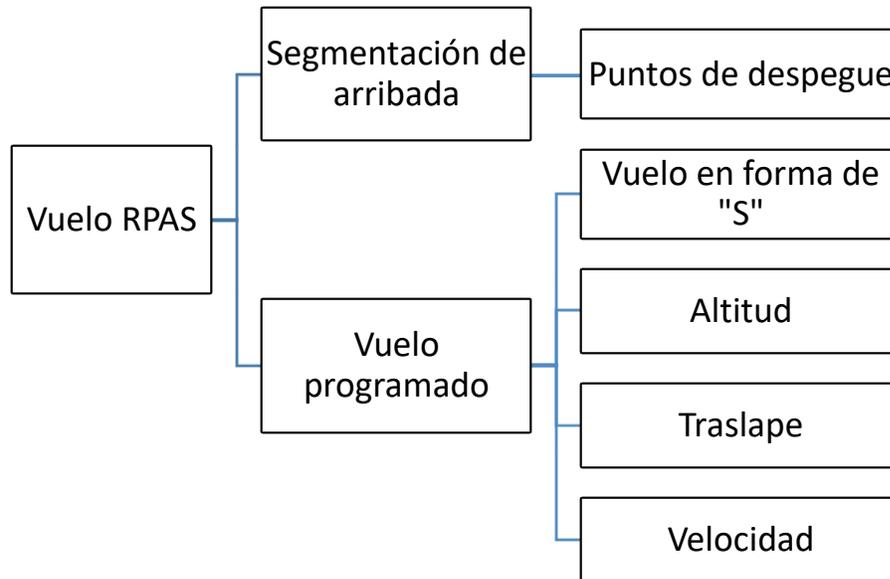


Figura 4. Plan de vuelo del RPAS, utilizando la app DroneDeploy.

6.4 Construcción de ortomosaicos a partir de imágenes aéreas.

Las imágenes capturadas con el RPAS fueron exportadas a una computadora, para su debido procesamiento (Figura 5), y se realizó un primer filtrado, eliminando todas aquellas que presentaron alguna inconsistencia; como una mala resolución o enfoque, que dificultara una visión clara y precisa.

Con las imágenes que presentaron una buena resolución y estuvieron bien enfocadas, se realizó una base de datos, registrando el número total de imágenes capturadas por segmento de arribada, sus coordenadas X y Y, y su orientación (estos datos fueron obtenidos del exif de la fotografía).

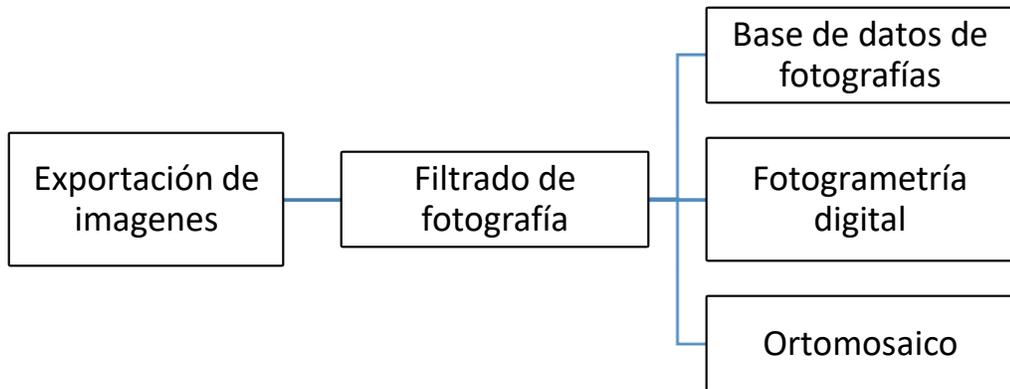


Figura 5. Procesamiento de las imágenes para la construcción de ortomosaicos.

Las imágenes se procesaron con el software Agisoft PhotoScan (Agisoft 2015), con el cual se desarrolló el procesamiento de fotogrametría digital (Figura 6), dicho software tiene como base la técnica de “Estructura en función del movimiento” (Structure from motion), la cual generó ortomosaicos georreferenciados de la playa de anidación con resolución de 2.5 cm/píxel.

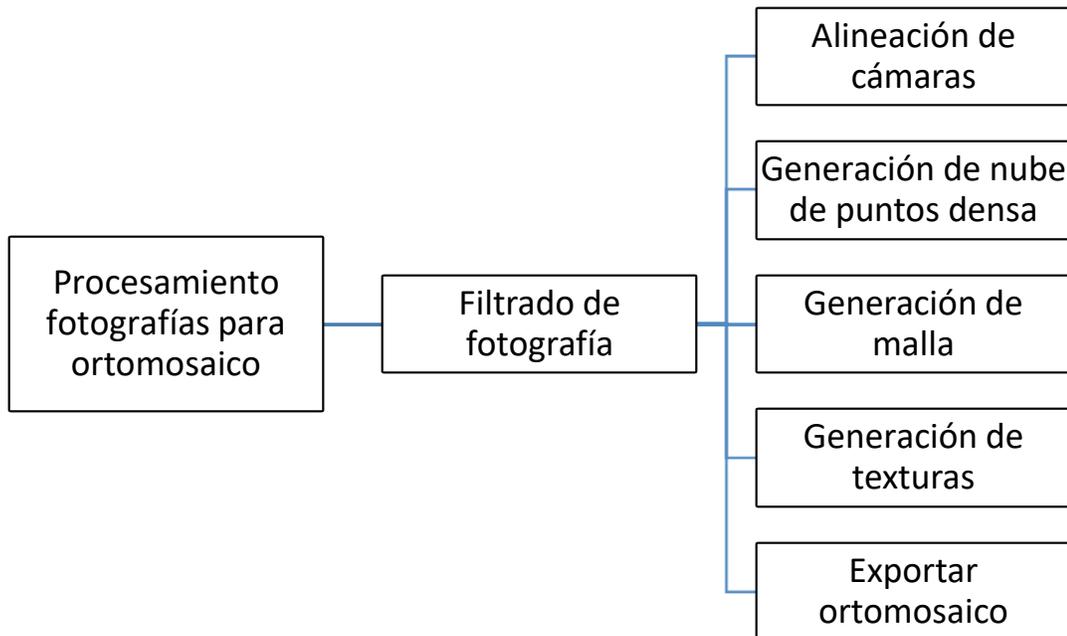


Figura 6. Flujo de trabajo del software Agisoft Photoscan, para la elaboración de ortomosaicos.

El procesamiento de las imágenes para la construcción de cada ortomosaico con el software Agisoft PhotoScan (Agisoft 2015), consistió en los siguientes pasos:

Importación de imágenes: El proceso inició con la importación de las imágenes derivadas de los vuelos programados, cada imagen cuenta con información (tipo de cámara, tamaño de píxel, distancia focal, fecha y hora de captura, así como su georreferenciación) que el software requiere y ejecuta.

Alineación de cámaras: El paso siguiente consistió en la alineación de cámaras (imágenes), las imágenes se ordenaron respecto a su geolocalización utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 (EPSG:4326), se requirió de una precisión alta para cada imagen.

Generación de nube de puntos densa: Consistió en buscar puntos homólogos en cada imagen (se requirió de 60,000 puntos clave y 6,000 puntos de enlace) para unirlos. Se requirió de una calidad alta y un filtrado de profundidad moderado, para la generación de la nube de puntos densa.

Generación de malla: La malla permitió el soporte de las imágenes en la estructuración del ortomosaico. Se requirió de una alta calidad para la generación de la malla, el filtrado de profundidad fue moderado, el tipo de superficie fue de bajo relieve, la interpolación se habilitó y los datos para la creación de la malla fueron tomados de la nube de puntos densa.

Generación de textura: Este paso permitió estructurar las condiciones visuales que aportó cada imagen para la construcción del ortomosaico. Los parámetros de texturizado consistieron en un mapeado en modo de ortofoto (para la unión de imágenes en forma de ortomosaico) y se indicó el llenado de los agujeros dentro del modelo.

Generación del ortomosaico: Para la creación del ortomosaico se utilizó el sistema de coordenadas WGS 84 (EPSG:4326), se utilizó la malla como parámetro de superficie, y la combinación de imágenes conformó el

ortomosaico. Posteriormente, se realizó la exportación del ortomosaico como una imagen JPEG y en formato KMZ.

6.5 *Conteo en ortomosaicos vs. conteo directo (CD) CONANP*

Los ortomosaicos contruidos a partir de las imágenes aéreas, fueron sometidos al programa Picterra©2019 con el cual se realizó el conteo de tortugas. El proceso se inició entrenando al programa para que identificara y realizara el conteo de tortugas presentes en la playa de anidación.

El entrenamiento o calibración del programa Picterra©2019, consistió en seleccionar diferentes zonas del ortomosaico e indicar en cuales se requería que contara (tortugas) y en cuales no (aves, vegetación, zonas de rompiente de marea, etc.). Dentro de cada ortomosaico se ubicaron en promedio 18 zonas de entrenamiento, en cada una de ellas se registró el total de tortugas (visualmente un observador especializado reconoció y determinó el total de tortugas) y ese registro se consideró preciso y confiable al 100%. Posteriormente, se indicó al programa Picterra©2019 realizar el conteo de tortugas dentro de las zonas de entrenamiento y se compararon los conteos.

Para determinar la confiabilidad de los conteos que realizó el programa Picterra©2019, se utilizó la prueba de Ji-cuadrada ($\alpha= 0.05$) en el programa Statistica® versión 7 (StatSoft 2004), para comparar los conteos realizados por el observador vs. los conteos realizados por el programa Picterra©2019 (esperados); se estimó el margen de error (E) de conteo del programa (Triola 2004):

$$E = z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Donde $Z_{\alpha/2}$ es el valor crítico de la distribución normal estándar (Z) de dos colas, igual a 1.96, con un nivel de confianza del 95%, \hat{p} es la proporción muestral de éxitos (total de tortugas contadas con el programa entre el total de tortugas contadas por el observador) de una muestra n y \hat{q} es la proporción

muestral de fracasos $(1 - \hat{p})$ en una muestra de tamaño n . Y de igual forma se estimó el intervalo de confianza (IC) al 95% (Triola 2004).

$$\hat{p} \pm E$$

Donde \hat{p} es la proporción muestral de éxitos y E es el margen de error.

Una vez entrenado y calibrado el programa, se ingresó el ortomosaico y se inició el conteo final de tortugas. Estas indicaciones se realizaron para cada ortomosaico analizado, debido a que contienen diferente información, por tal motivo requirió calibración independiente para cada conteo.

Se utilizaron cuatro ortomosaicos para el conteo automatizado (Picterra©2019) de tortugas y para la comparación de resultados, estos ortomosaicos se obtuvieron de los sobrevuelos efectuados sobre las arribadas, que se realizaron simultáneamente con los conteos directos (CD) que realizó el personal de la CONANP (02, 03, y 30 de diciembre de 2018 y 27 de enero de 2019), los resultados de ambos métodos de conteo fueron comparados y se estimó el error de conteo de tortugas en los ortomosaicos utilizados para el conteo automatizado con el programa Picterra©2019.

La comparación de resultados de los métodos de conteo (CD vs Picterra©2019) se realizó utilizando una t-student para muestras pareadas como prueba estadística, ejecutada en el programa Statistica® versión 7 (StatSoft 2004).

Por otro lado, cuando las hembras anidadoras comenzaron a emerger a la playa, el personal de la CONANP (personal del campamento tortuguero) inició los conteos directos aproximadamente cada hora (recorridos a lo largo de la zona de arribada utilizando un ATV con dos observadores, uno que contó las tortugas que se ven del vehículo hacia la vegetación y otro del vehículo hacia el mar, al momento que contaron mil tortugas o más sobre la playa, dieron por iniciada la arribada de ese día. A partir de ese momento, el personal de la CONANP realizó conteos de nidadas, utilizando el método de transecto por

franjas en un tiempo fijo, hasta que la cantidad de tortugas disminuyó notablemente y recurrieron nuevamente al método de conteo directo.

6.6 Modelo de estimación de nidadas a partir de ortomosaicos

Para la estimación de nidadas se retomó un método utilizado hace poco más de una década en playa Escobilla, el cual consiste en multiplicar el total de hembras presentes en playa (contadas a bordo de un ATV) por la probabilidad de éxito de anidación de la tortuga golfina, ya que no todas las tortugas que emergen del mar para ovopositar tienen éxito. Pero en este caso, se utilizó el conteo de hembras descrito en la sección anterior a partir de un ortomosaico, y se obtuvo la probabilidad de éxito de anidación de una muestra de hembras anidadoras ($n = 113$). Para ello, se eligieron hembras (durante la tarde, cuando la concentración de tortugas incrementaba) que estuvieran iniciando su desplazamiento sobre la playa a partir de la línea de marea, y se les dio un seguimiento por parte de cuatro observadores, se mantuvo una distancia considerable para evitar perturbar el proceso de anidación, una vez que se observó que habían terminado de cavar y tenían ambas aletas traseras fuera del nido, se abordaron por detrás para confirmar visualmente la presencia de huevos dentro de la cámara de anidación, el seguimiento a la tortuga concluyó cuando anidó exitosamente o cuando regresó al mar.

Para calcular la probabilidad de éxito de anidación se utilizó una estimación muestral de la proporción \hat{p} (Krebs 1999):

$$\hat{p} = \frac{a}{n}$$

Donde \hat{p} es la probabilidad de éxito de anidación, a número de tortugas que anidaron exitosamente y n el número total de tortugas observadas. Además, se calculó el error estándar de la proporción \hat{p} (Krebs 1999):

$$s_{\hat{p}} = \sqrt{1 - \hat{p}} \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n - 1}}$$

Donde $S_{\hat{p}}$ es el error estándar de la proporción estimada de P, f es la fracción de muestreo (n/N), \hat{p} es la probabilidad de éxito de anidación, \hat{q} es $1 - \hat{p}$ y n es el número de tortugas anidadoras observadas.

Finalmente, se estimó del número de nidadas en dos segmentos de arribada (área que sobrevoló el RPAS), multiplicando el número de tortugas contadas de manera automatizada en los ortomosaicos, por la probabilidad de éxito de anidación obtenida en este trabajo y de manera complementaria, se utilizaron los valores generados (con el método que se describió anteriormente) por Albavera-Padilla & Karam-Martínez (CMT-UMAR, com. pers., 2019). La estimación del número de nidadas se obtuvo de la siguiente manera:

$$Ne = N * \hat{p}$$

Donde Ne es el número de nidadas estimadas, N es el total de tortugas contadas en un ortomosaico y \hat{p} es la probabilidad de éxito de anidación, se obtuvieron los intervalos de confianza (IC) al 95% (Krebs 1999) de la siguiente manera:

$$N * \hat{p} \pm (N * Sp * 1.96)$$

Donde N es el total de tortugas contadas en un ortomosaico, \hat{p} es la probabilidad de éxito de anidación, Sp es el error estándar del total de la población y **1.96** es el valor crítico de dos colas ($Z_{\alpha/2}$) a un α de 0.05.

6.7 Nidadas reportadas por la CONANP

Dos de los ortomosaicos obtenidos corresponden en tiempo y espacio a momentos en los que el personal de la CONANP realizó su muestreo con el método del transecto por franjas en un tiempo fijo (03/10/18 y 02/12/18), por lo que fue posible hacer una comparación entre las estimaciones del número de nidadas obtenidas a través de ambos métodos. Para realizar la comparación, se solicitó a la CONANP la base de datos de los transectos de esos segmentos de las arribadas, y posteriormente con esos datos, se alimentó la aplicación de acceso libre “Portal arribada” (Valverde 2013), disponible en

<http://www2.southeastern.edu/Academics/Faculty/rvalverde/arribada.php>. Se utilizó un tiempo de ovoposición de 12 y 11 minutos respectivamente (datos proporcionados por la CONANP), una distancia de 50 m entre transectos, una hora de tiempo entre conteos y una amplitud de transecto igual a 2 m.

6.8 *Respuesta conductual*

Para evaluar una posible modificación de la conducta debido a la presencia del RPAS en las primeras cuatro etapas de anidación (subiendo, haciendo nido, desovando y tapando) se muestrearon hembras anidadoras ($n = 129$) a lo largo de 11 días de cuatro arribadas de la temporada 2018 - 2019, tanto en la mañana (06:00 a las 11:00 hr.) como en la tarde (16:00 a 18:30 hr), se enfocó el esfuerzo de muestreo en las zonas de mayor densidad de tortugas, la selección de hembras anidadoras fue utilizando el muestreo aleatorio sistemático. Para ello, se hicieron recorridos por la zona media de la playa y se fueron contando hembras, se seleccionó cada hembra número cinco independientemente de la actividad que estuviera realizando (subiendo, haciendo nido, desovando y tapando), pero procurando mantener un equilibrio en el tamaño de muestra de las diferentes etapas.

La Figura 7, describe el procedimiento de toma de datos de respuesta de reacción de la tortuga golfina ante la presencia del RPAS. A cada hembra seleccionada se le tomaron 6 min de video: 3 min con RPAS (1.5 min a 5 m de altura y 1.5 min a 15 m de altura, aplicando una rutina de movimientos de arriba y abajo, de izquierda a derecha y un giro); y 3 min con una cámara digital Nikon modelo CoolPix P520 (Full HD 1080 p, Zoom de 42x), a una distancia aproximada de ± 12 m, este video se tomó para contar con una referencia del comportamiento de la tortuga golfina sin un factor de posible estrés.

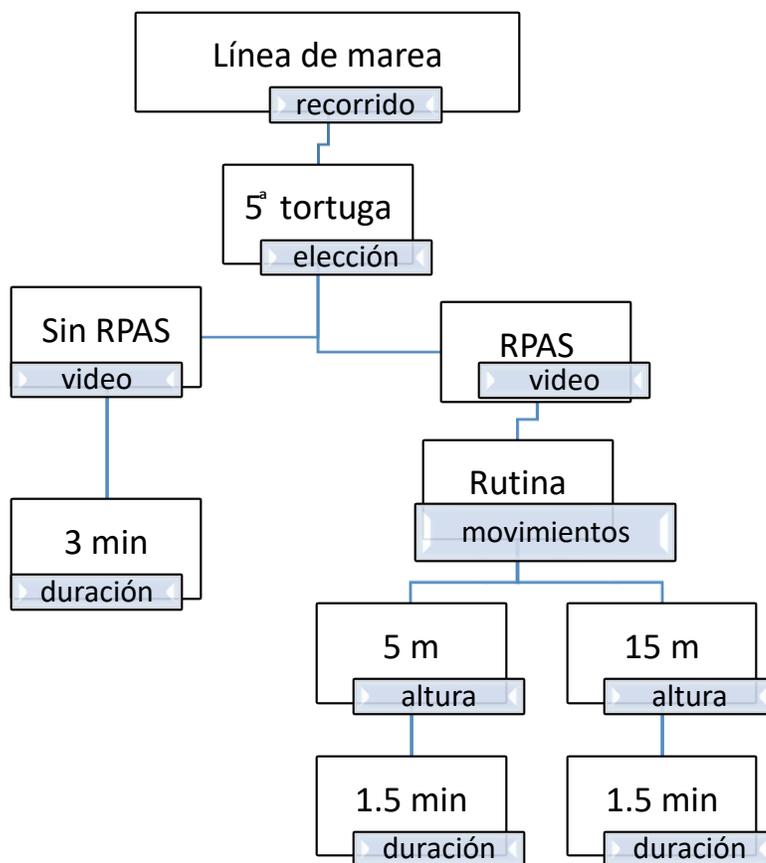


Figura 7. Procedimiento para toma de videos de respuesta conductual de la tortuga golfinia ante la presencia de un RPAS.

Se hicieron acercamientos con la cámara para obtener un registro preciso del comportamiento de la tortuga golfinia, evitando movimientos bruscos, distorsiones y desenfocsos. El orden de aplicación de las pruebas (sin RPAS y con RPAS a 5 y 15 m de altura), fue diferente entre individuos, de manera sistemática y aleatoria, pero tratando de mantener el mismo número de pruebas para cada etapa de anidación. La altura de 15 m fue seleccionada con base en los resultados de Bevan *et al.* (2018), quienes determinaron que dicha altura es idónea para el estudio poblacional de tortugas marinas. La altura de 5 m se propuso con el afán de identificar el grado de tolerancia y reacción de las tortugas golfinas ante la presencia de un RPAS.

Los videos fueron analizados para describir cuatro etapas del proceso de anidación de la tortuga golfinia, tomando como base los etogramas propuestos

por Hailman & Elowson (1992) y Lindborg *et al.* (2019). Una vez elaboradas las descripciones de las cuatro etapas, se establecieron los criterios para interpretar la conducta de las tortugas muestreadas y se construyó una base de datos en el programa Excel de Microsoft Office Home 365, registrando el total de tortugas que no presentaron respuesta conductual ante la presencia del RPAS (cuando realizaron su actividad con normalidad) y cuantas sí reaccionaron a la presencia del RPAS (cambió de dirección, se detuvo y continuó o abandonó su actividad).

6.9 Probabilidad de percepción del RPAS durante el proceso de anidación

La probabilidad que una tortuga golfinia perciba el vuelo del RPAS (Mavic Pro) durante el proceso de anidación en playa Escobilla, se obtuvo a partir del porcentaje de tortugas anidadoras que sí percibieron la presencia del RPAS.

Para determinar la altura de vuelo (5 o 15 m) y la etapa del proceso de anidación (subiendo, haciendo nido, desovando o tapando) en la cual el RPAS puede alterar la conducta de la tortuga golfinia, se estructuró un Modelo Radial de Clasificación Neuronal (MRCN), utilizando el programa Statistica® versión 7 (StatSoft 2004). Dicho MRCN (Figura 8), utilizó como una variable de entrada o independiente el registro de la percepción (**P**) del RPAS por parte de las tortugas anidadoras, y como variables de salida o dependientes, los valores de probabilidad de percepción del RPAS a 5 y 15 m), así como los valores de probabilidad de las etapas de anidación vulnerables.

El MRCN se estructuró con tres capas internas de aprendizaje (Figura 8). Se utilizó un modelo lineal para activar la primera sinapsis y capa de aprendizaje ($Y_1 = a + (b * P)$). Entre la primera y segunda capa de aprendizaje, se empleó un modelo lineal como señal sináptica de conexión ($Y_2 = c + (d * Y_1)$). Para activar la segunda capa de aprendizaje se empleó un modelo hiperbólico ($Y_3 = (e^{Y_2} - e^{-Y_2}) / (e^{Y_2} + e^{-Y_2})$). Entre la segunda y tercer capa de aprendizaje se utilizó un modelo lineal como señal sináptica de conexión ($Y_4 = e + (f * Y_3)$). Finalmente, para activar la tercer capa de aprendizaje se utilizó un modelo logístico ($Y_5 = (1 / (1 + e^{-Y_4}))$). Dichos modelos son propuestos y utilizados por el programa Statistica® versión 7 por default (StatSoft 2004).

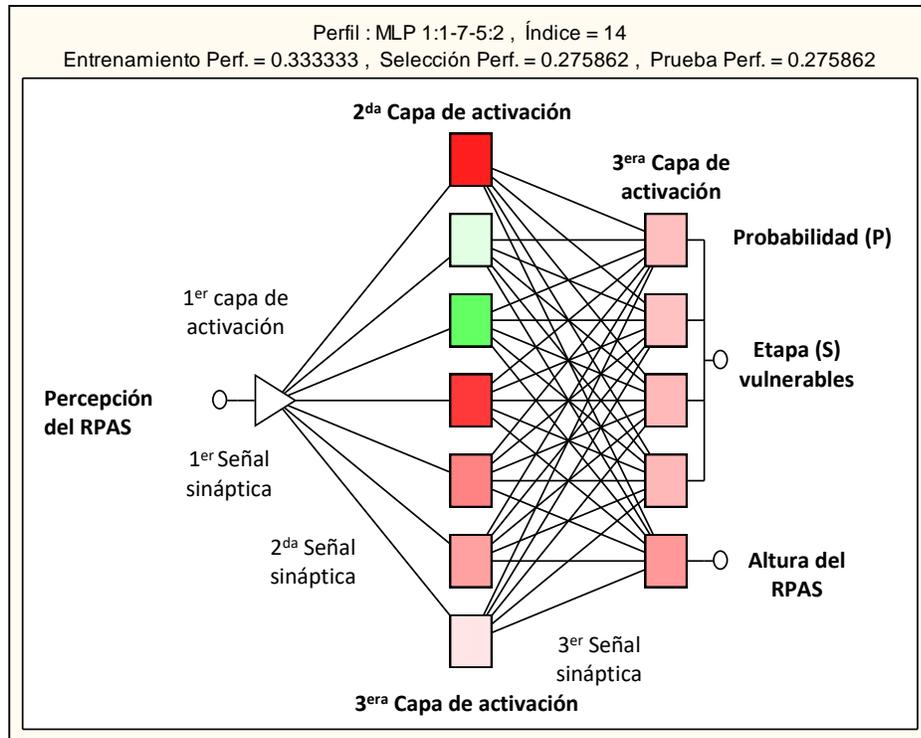


Figura 8. MRCN utilizó un MLP 1:1:7:5:2, que indica las probabilidades (P) de etapa(s) vulnerables que son influenciadas y/o afectadas y la altura del RPAS a la cual puede influir y/o afectar el proceso de anidación de la tortuga golfina.

Las salidas de Y_5 están expresadas en términos de probabilidad entre 0 y 1, nombradas para este caso como la probabilidad (P) para la etapa o etapas que pueden ser influenciadas y/o afectadas por la presencia del RPAS y la altura del RPAS a la cual puede afectar el proceso de anidación de la tortuga golfina. Los parámetros a, b, c, d, e y f, así como las funciones sinápticas y de activación fueron propuestos y usados por el programa Statistica® versión 7 (StatSoft 2004), al finalizar el proceso de entrenamiento.

7. Resultados

7.1 Vuelo del RPAS y sus características

Se realizaron seis vuelos durante la temporada de arribada de la tortuga golfina 2018-2019, con una duración promedio de 11 minutos (± 2.09 DE). La altura promedio de los seis vuelo fue de 71.15 m (± 9.65 DE), a una velocidad de 6

m/s, un traslape frontal del 75% y un traslape lateral del 65% para la captura de imágenes, así como una resolución de 1.8 cm/píxel (Tabla I).

Tabla I. Características y condiciones de los planes de vuelo del RPAS, utilizadas en la aplicación DroneDeploy.

Fecha	Altura (m)	Viento km/h	Traslape %		Velocidad m/s	Resolución cm/píxel	Duración min
			frontal	lateral			
03/10/18	90.7	10.5	75	65	6	1.8	11
02/12/18	65.2	15	75	65	6	1.8	10
02/12/18	68.3	15.3	75	65	6	1.8	11
03/12/18	68.3	15	75	65	6	1.8	10
30/12/18	66.9	11	75	65	6	1.8	9
27/01/19	67.5	11	75	65	6	1.8	15

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la página web Weather Spark (2019), que obtiene los datos de precipitación, velocidad y dirección del viento provenientes de MERRA-2 (Análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones, versión 2) de la NASA. Que proporcionó los datos climatológicos de Santa María Tonameca (Figura 9 y 10), basados en análisis estadísticos de informes climatológicos históricos por hora y reconstruidos de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016 (MERRA-2).

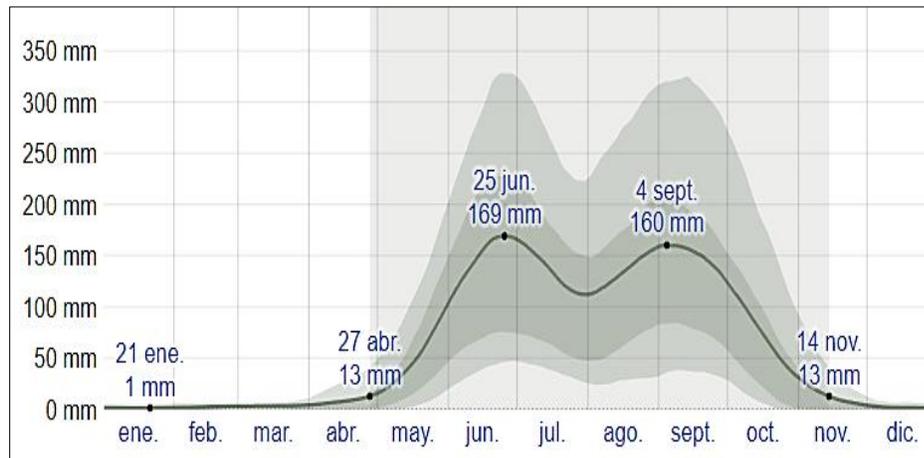


Figura 9. Precipitación de lluvia mensual promedio (línea sólida). Fuente: Tomado de Weather Spark (2019).

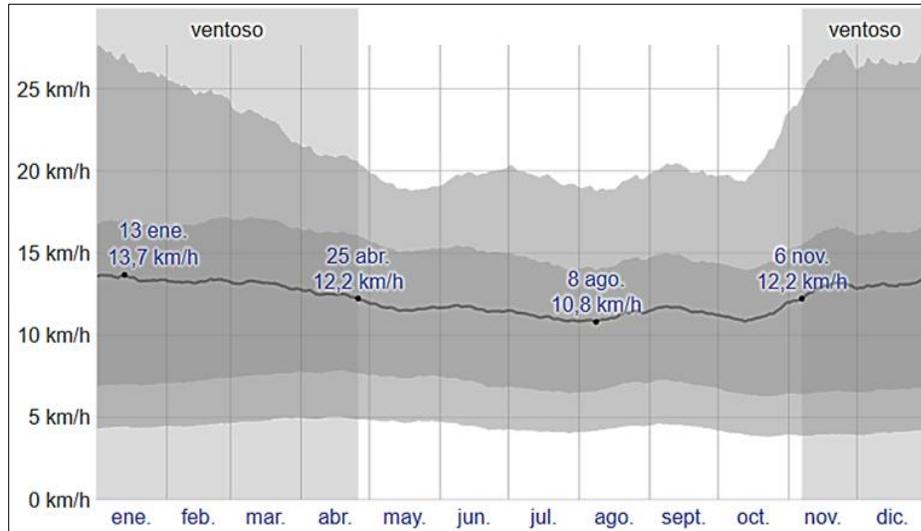


Figura 10. Velocidad del viento promedio (línea sólida).
Fuente: Tomado de Weather Spark (2019).

Los valores climáticos se promediaron para los seis vuelos: velocidad del viento 12.96 km/h (± 2.34 DE) y precipitación 4.03% (± 0.46 DE). Ya que los valores óptimos para el vuelo del RPAS son vientos menores a 20 km/h y ausencia de lluvia, las condiciones meteorológicas fueron óptimas durante los días que se realizaron los vuelos programados.

7.2 Procesamiento de imágenes y construcción de ortomosaicos

De los seis vuelos programados se obtuvieron un total de 1,542 imágenes georreferenciadas (Tabla II), pero posterior al filtrado se obtuvieron 1,475 imágenes efectivas con las cuales se construyeron los ortomosaicos. Se eliminaron 67 imágenes del primer vuelo (03/10/18), debido a falta de luz natural (oscuras). Para los siguientes cinco vuelos no se eliminaron imágenes, puesto que contaban con los requerimientos necesarios. En promedio, por cada vuelo realizado se capturaron 257 imágenes (± 40.65 DE).

Tabla II. Imágenes capturadas y filtradas por vuelo.

Vuelo	Total	Eliminadas	Filtradas
03/10/2018	242	67	175
02/12/2018	238	0	238
02/12/2018	256	0	256
03/12/2018	246	0	246
30/12/2018	223	0	223
27/01/2019	337	0	337
Total	1542	67	1475

En la tabla III, se muestran las características de los seis ortomosaicos, con una resolución promedio de 2.17 cm/píxel (± 0.29 DE).

Tabla III. Características y condiciones de los ortomosaicos.

Fecha	Altura (m)	Área (km²)	Imágenes	Resolución (cm/pix)
03/10/2018	90.7	0.23	175	2.76
02/12/2018	65.2	0.13	238	1.99
02/12/2018	68.3	0.15	256	2.07
03/12/2018	68.3	0.23	246	2.09
30/12/2018	66.9	0.17	223	2.06
27/01/2019	67.5	0.21	337	2.06

Con el software Agisoft PhotoScan se desarrolló el procesamiento de fotogrametría digital y como producto final se obtuvieron seis ortomosaicos georreferenciados de la playa de anidación (Figura 11-16), construidos a partir de las imágenes obtenidas de los vuelos del RPAS (Mavic Pro). Los reportes finales del proceso de construcción de los ortomosaicos se muestran en el Anexo III - VIII.

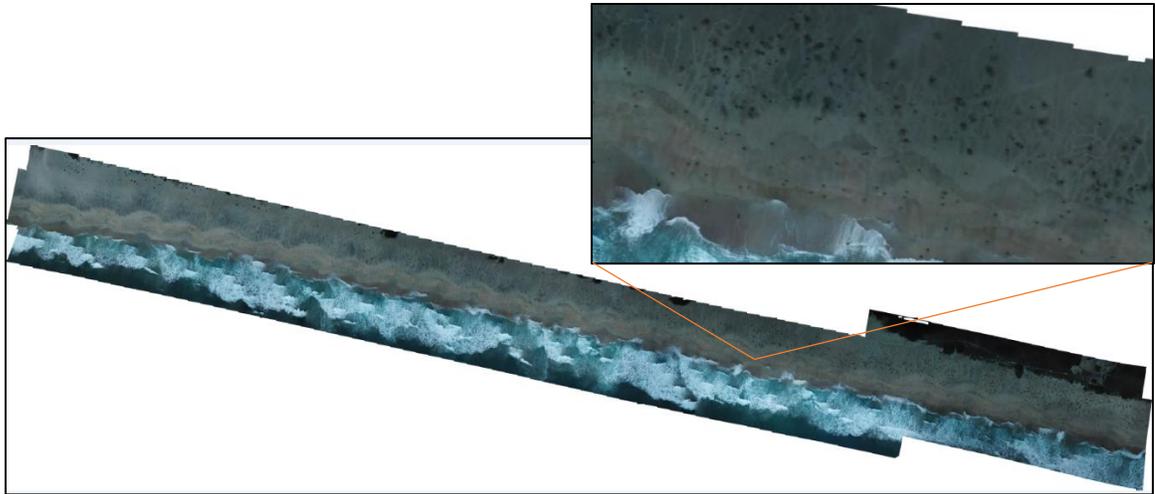


Figura 11. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 03/10/18.

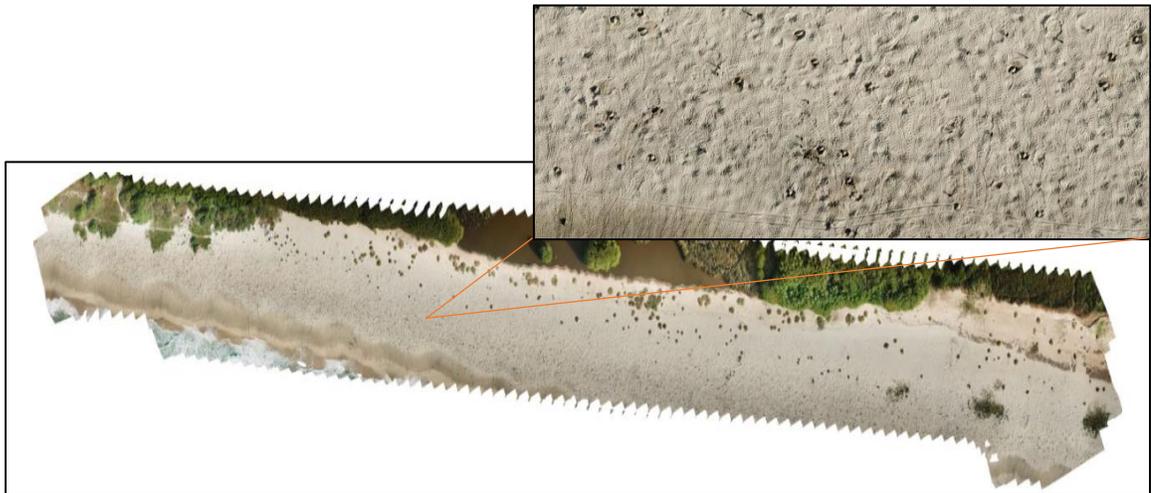


Figura 12. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 02/12/18.

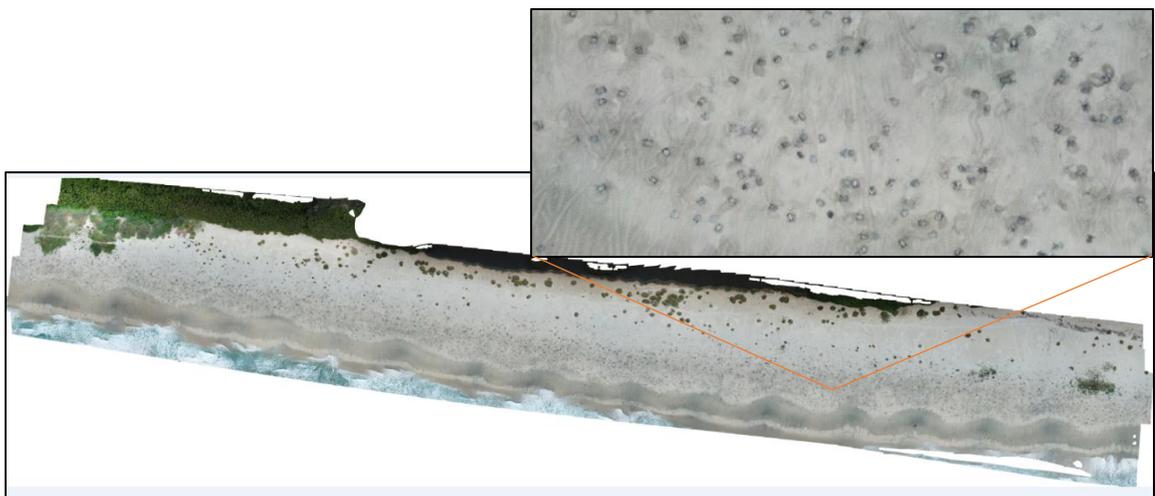


Figura 13. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 02/12/18.

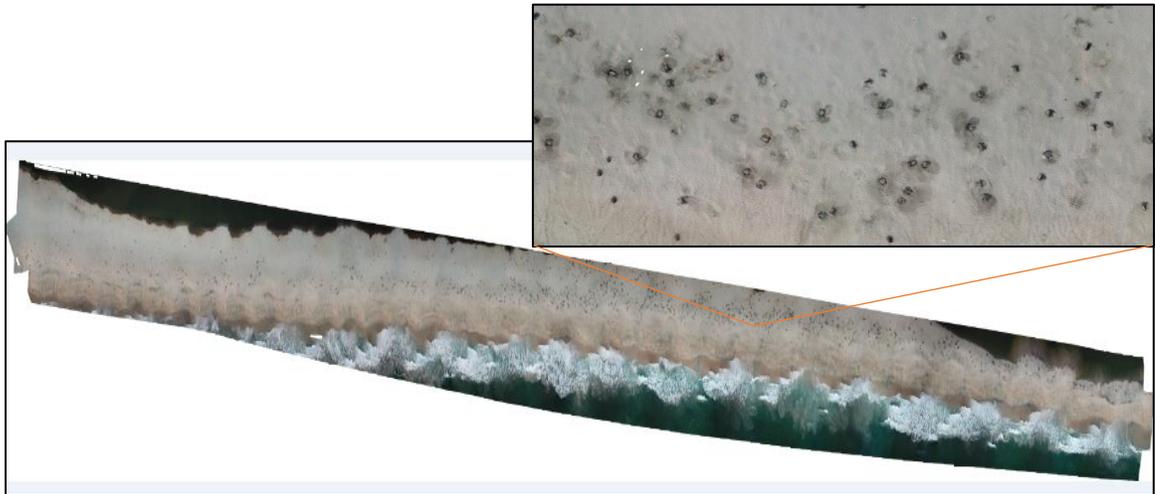


Figura 14. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 03/12/18.

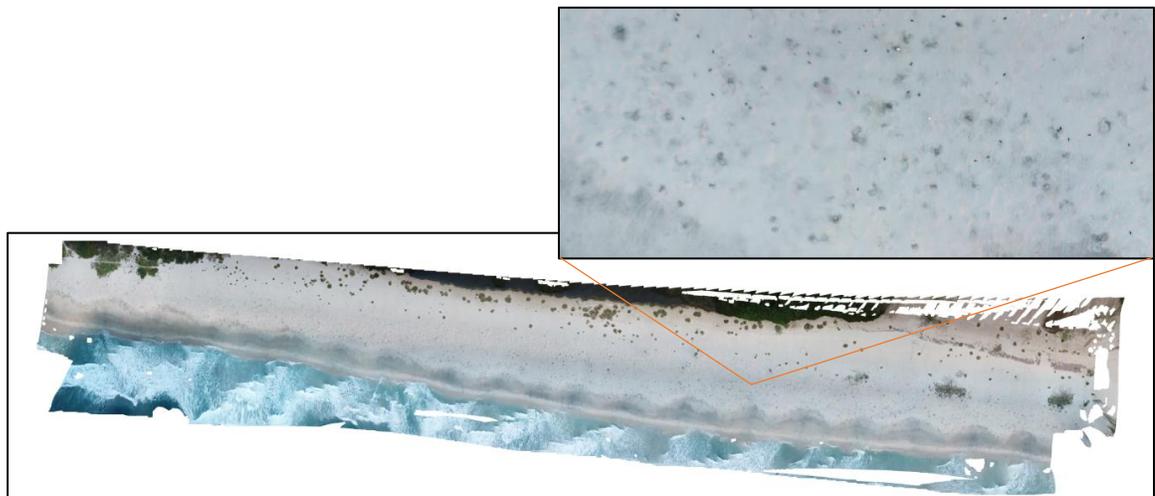


Figura 15. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 30/12/18.



Figura 16. Ortomosaico obtenido de las imágenes del vuelo del 27/01/19.

7.3 Conteo de tortugas en ortomosaicos

No se encontraron diferencias significativas entre los conteos realizados por el observador y el programa Picterra©2019 (Ji-cuadrada = 16.17, g.l = 109, $p > 0.999$).

La confiabilidad de conteo del programa Picterra©2019, se obtuvo de los siguientes valores: $Z_{\alpha/2} = 1.96$, $\hat{p} = 0.99$ y una $\hat{q} (1 - \hat{p}) = 0.008$ y $n = 1,000$ tortugas. Dichos datos permitieron estimar el margen de error (E) del conteo del programa Picterra©2019 de 0.006 (0.6%). Con un intervalo de confianza (IC) 0.99 ± 0.006 . Por lo tanto, el programa Picterra©2019 tiene una precisión del 0.99 (± 0.6) a un nivel de confianza del 95%.

En la tabla IV, se muestran los conteos del número de tortugas en playa, obtenidos de manera automatizada (Picterra©2019) a partir de ortomosaicos y los obtenidos mediante el conteo directo (CD) por parte del personal de la CONANP. Para cada conteo de tortugas del programa Picterra©2019 en cada ortomosaico, se estimó el error estándar (ES) y los intervalos de confianza (IC) a un α de 0.05 de confianza.

Tabla IV. Resultados de conteo de tortugas en playa mediante el conteo directo (CD) de la CONANP vs. el programa Picterra, el error estándar (ES) y sus intervalos de confianza Ls (límite superior) y Ls (límite inferior).

Ortomosaico	CD	Picterra	ES	Ls	Li
02/12/2018	750	794	0.007	0.99	0.98
03/12/2018	614	664	0.014	0.98	0.95
30/12/2018	1,068	1,500	0.007	0.99	0.97
27/01/2019	754	934	0.009	0.99	0.97

7.4 Comparación de métodos de conteo

Se realizó una prueba t-student y no se encontraron diferencias significativas entre los dos tipos de conteos ($t = 1.94$, g.l = 3, $p = 0.14$). Por lo cual se concluye que no existe diferencia significativa entre el conteo directo (CD) y el conteo

automatizado a partir de ortomosaicos. En la Figura 17, se observan las tendencias de la media y varianza de ambos métodos de conteo.

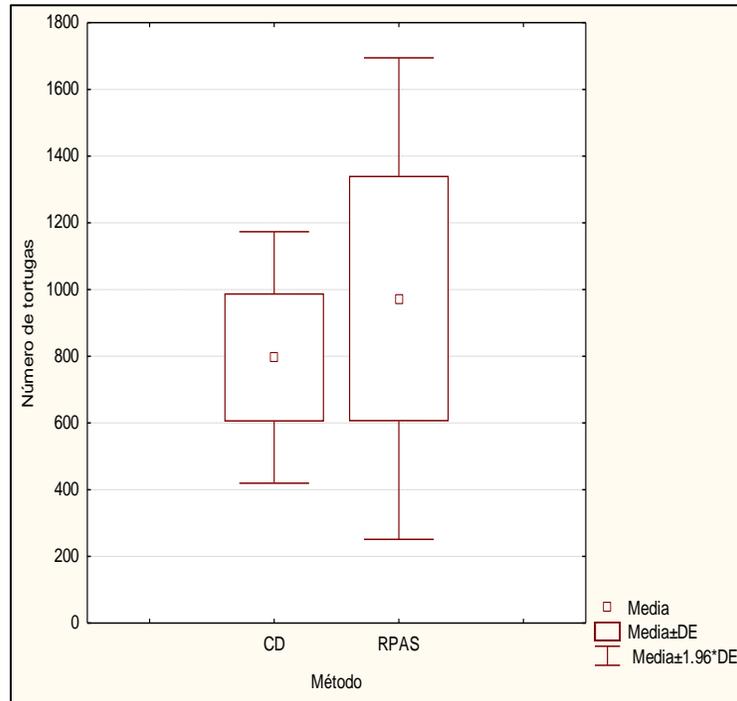


Figura 17. Comparación de conteos de tortugas en playa: Conteo Directo (CD) y automatizado a partir de imágenes aéreas de un RPAS.

7.5 Estimación del número de nidadas en ortomosaicos y a partir del método del transecto por franjas en un tiempo fijo

Se obtuvo una probabilidad de éxito de anidación de 0.45 ($n = 113$), con un error estándar (ES) de 0.02, a un 95% de confianza. En la tabla V se muestra el número de tortugas contadas en dos ortomosaicos y el número de nidadas estimadas con base a los valores de probabilidad de éxito de anidación máximo, promedio y mínimo, obtenidos y proporcionados para este prueba por Albavera-Padilla & Karam-Martínez (CMT, UMAR, com. pers., 2019), así como el valor obtenido en el presente trabajo. El error estándar (ES) calculado fue de 0.01, a 95% de confianza, para la estimación de nidadas en cada ortomosaico. De igual manera se muestran los resultados de la estimación del número de nidadas proporcionados por el programa en línea “Portal arribada” (el cual realiza las

estimaciones de nidadas a partir del método del transecto por franjas en un tiempo fijo), estos resultados corresponden al mismo segmento de la arribada cubierta por el vuelo del RPAS.

Tabla V. Estimación de número de nidadas en dos ortomosaicos a partir de probabilidades de éxito de anidación (EA): 1 valor máximo, 2 valor promedio y 3 valor mínimo de Albavera-Padilla & Karam-Martínez (CMT, UMAR, com. pers., 2019), 4 valor calculado en este trabajo. Ls (límite superior), Li (límite inferior) y d (grado de precisión) fueron calculados en este trabajo.

Ortomosaico	Tortugas	EA	Nidadas	Ls	Li	d
03/10/2018	1363	0.64 ¹	873	920	825	48
		0.56 ²	766	798	735	32
		0.43 ³	586	626	546	40
		0.45 ⁴	615	665	566	50
Arribada	Método del transecto		930	1,555	305	625
02/12/2018	Tortugas 1955	EA	Nidadas	Ls	Li	d
		0.64 ¹	1,252	1,320	1,184	68
		0.56 ²	1,099	1,145	1,054	45
		0.43 ³	835	892	777	57
	0.45 ⁴	882	954	811	71	
Arribada	Método del transecto		1,086	1,626	546	540

El valor d en la tabla V, representa el grado de precisión de cada estimación de nidadas, a menor valor de estimación mayor grado de precisión y viceversa.

7.6 Respuesta conductual de la tortuga golfinas al RPAS

Se analizaron 339 videos de 129 tortugas golfinas, con una duración de 687 minutos de grabación. El análisis de los videos se dividió en: videos capturados de manera convencional (conducta natural) y videos capturados con el RPAS (conducta de reacción), ambos tipos de videos cubrieron cuatro etapas del proceso de anidación. A partir del análisis de cada video se realizaron registros que describieron cada una de las etapas (Tabla VI), además, se identificaron y describieron reacciones de respuesta a la presencia del RPAS (Tabla VII).

Tabla VI. Descripción de la conducta de la tortuga golfina durante cuatro etapas del proceso de anidación.

Conducta natural de anidación (sin RPAS)

Subiendo	Emergencia del mar y desplazamiento cuadrúpedo de la tortuga sobre la playa. El movimiento de las cuatro aletas le permite avanzar.
Haciendo nido/ Cavando	Momento en el cual la tortuga inicia la construcción del nido, utilizando y alternando las aletas traseras como palas para sacar arena y moldear el nido (cuello y cámara de anidación). Esto no asegura que la tortuga desove exitosamente.
Desove	La tortuga puede o no colocar sus aletas traseras a manera de cubrir el nido, e inicia el desove con la expulsión del primer huevo por la cloaca. Para el caso de la población de Playa Escobilla se tiene un registro de duración de 11 a 12 minutos en promedio (Erika Peralta, CONANP, com. pers. 2018).
Tapado	Cubre o rellena el nido con arena circundante, al inicio utiliza de manera alternada las aletas traseras para tapar el nido, una vez cubierto el nido a nivel de la playa, la tortuga realiza movimientos de aplanado, utilizando el peso de su cuerpo para compactar la arena, alzando y dejando caer su cuerpo de lado izquierdo o derecho, posteriormente utiliza las cuatro aletas para remover arena y ocultar su nido.

En las cuatro etapas de anidación se registraron periodos de latencia, durante los cuales la tortuga puede mover la cabeza: 1) elevación de la cabeza, movimientos de expansión y contracción de la garganta (relacionado con la respiración), para posteriormente descender la cabeza a la posición inicial, o 2) movimientos laterales de la cabeza, que pueden incluir movimientos de garganta antes descritos. Cabe destacar que la combinación de ambos movimientos de la cabeza solo ocurre cuando la tortuga va subiendo por la playa.

Tabla VII. Respuestas conductuales de la tortuga golfina frente a un RPAS

Conducta frente a la presencia del RPAS (la etapa en que se observó la respuesta se muestra entre paréntesis).

Detiene y continúa	Al visualizar un acercamiento o bloqueo ligero, se detiene y posteriormente reanuda su actividad, haciendo que ésta sea intermitente, con pausas de varios segundos y hasta de minutos (subiendo o haciendo nido).
Cambio de dirección	Ocurre de dos formas dependiendo del tipo de bloqueo o movimiento que identifique (subiendo): Cambio ligero, se da cuando su desplazamiento es lento y con movimientos laterales suaves de la cabeza, posteriormente reanuda con una nueva dirección de manera gradual. Cambio abrupto, sucede con un movimiento estrepitoso de cambio de dirección a la izquierda o derecha, tratando de evadir y evitar el bloqueo o el acercamiento repentino y avanza a velocidad.
Abandona actividad	Esta es la respuesta a un acercamiento invasivo o abrupto del RPAS durante el desarrollo de su actividad. Puede o no reanudar su actividad en el mismo lugar o en otro (subiendo, haciendo nido).
Regreso al mar	Esta respuesta se da ante un bloqueo y/o acercamiento abrupto y/o estrepitoso del RPAS, provocando el regreso de la tortuga al mar de manera directa (subiendo, haciendo nido).

El intento de retracción de la cabeza como acción de protección, es precedido de una pausa, esto a causa de movimientos bruscos dentro de su campo visual y esta reacción se presentó en todas las respuestas de reacción antes mencionadas, a excepción de la reacción de regresar al mar, puesto que su desplazamiento es vigoroso y relativamente rápido.

Todas las respuestas de reacción de la tortuga golfina fueron provocadas por la percepción del RPAS dentro de su campo visual. Además, no todas las respuestas de reacción se produjeron durante las cuatro etapas de anidación, durante cada etapa la tortuga puede reaccionar de forma diferente a la presencia del RPAS.

7.7 Percepción del RPAS por parte de la tortuga golfina.

De 129 tortugas golfinas que fueron expuestas al vuelo del RPAS a dos diferentes alturas (5 y 15 m), durante cuatro etapas del proceso de anidación se obtuvo que: 110 tortugas (85%) no percibieron la presencia del RPAS (Figura 18a), durante alguna etapa del proceso de anidación, pero 19 tortugas (15%) sí percibieron la presencia del RPAS durante alguna etapa del proceso de anidación (Figura 18b).

De las 19 tortugas que percibieron la presencia del RPAS durante el proceso de anidación, ocho detuvieron su actividad, pero continuaron desarrollándola (42%), seis mientras subían, una haciendo nido y otra más tapando y 11 abandonaron totalmente su actividad (58%), cinco de ellas mientras subían y seis mientras hacían su nido (Figura 18 b).

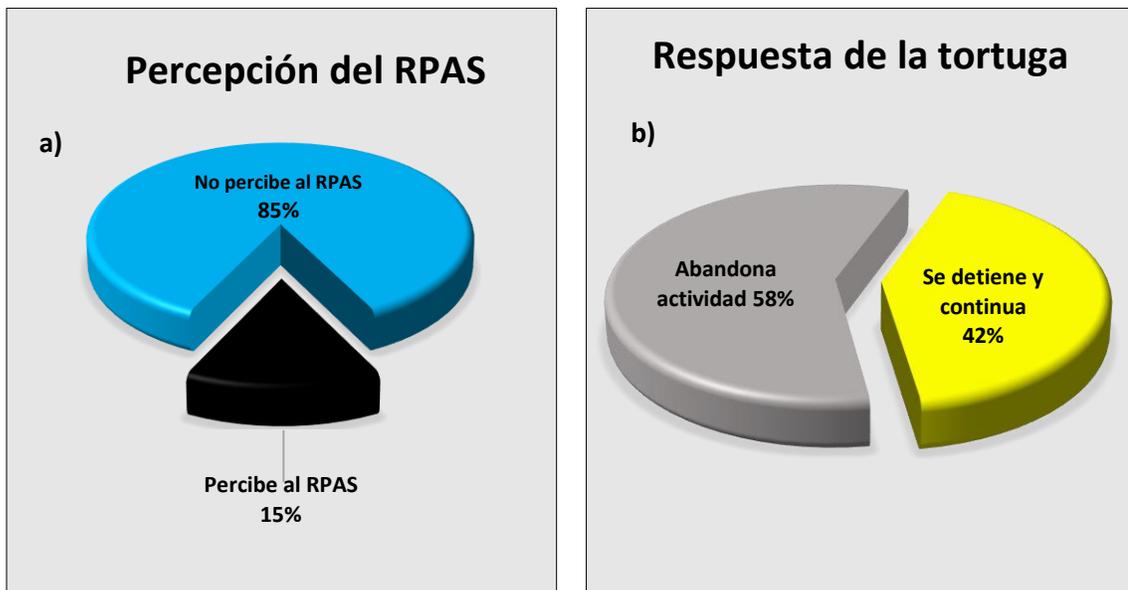


Figura 18. a) Percepción del RPAS por parte de tortugas anidadoras (n=129). b). Conducta de respuesta de tortugas ante la presencia del RPAS (n=19), durante el proceso de anidación.

En la figura 19, se muestran las 129 tortugas que fueron expuestas a las dos alturas (5 y 15 m) del vuelo del RPAS, 110 tortugas no percibieron la presencia del RPAS, 60 de ellas fueron expuestas a la altura de vuelo de 5 m y 50 más fueron expuestas a la altura de vuelo de 15 m. Pero 19 tortugas si

percibieron la presencia del RPAS, 16 de ellas reaccionaron a la altura de vuelo de 5 m y tres más reaccionaron a la altura de vuelo de 15 m.

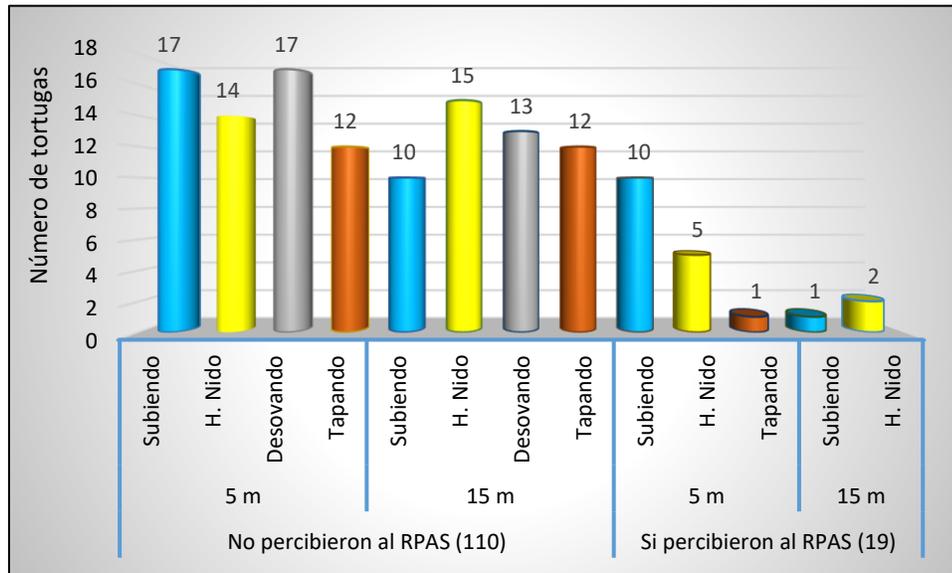


Figura 19. Número de tortugas que percibieron o no el RPAS a dos alturas de vuelo en cuatro etapas de anidación.

En la figura 20, se muestran las 19 tortugas que percibieron la presencia del RPAS y las etapas del proceso de anidación en las cuales reaccionaron.



Figura 20. Etapas de anidación y número de tortugas que reaccionaron ante el RPAS en vuelos de 5 y 15 m.

7.8 Probabilidad de la tortuga golfina de percibir el vuelo del RPAS.

Un MRCN (Modelo Radial de Clasificación Neuronal), calculó la probabilidad que tiene la tortuga golfina de poder percibir el vuelo del RPAS durante alguna etapa de su proceso de anidación (subiendo, haciendo nido, desovando y tapando), a dos diferentes alturas 5 y 15 m. En la figura 21 se muestra el resultado obtenido del MRCN, donde se observa que las tortugas golfinas tienen mayor probabilidad de percibir el RPAS a 5 m de altura (línea azul), con valores ascendentes que van del 75 al 85%. Mientras que la probabilidad de percibir el RPAS a 15 m es menor (línea roja), con valores descendentes del 25 al 15%.

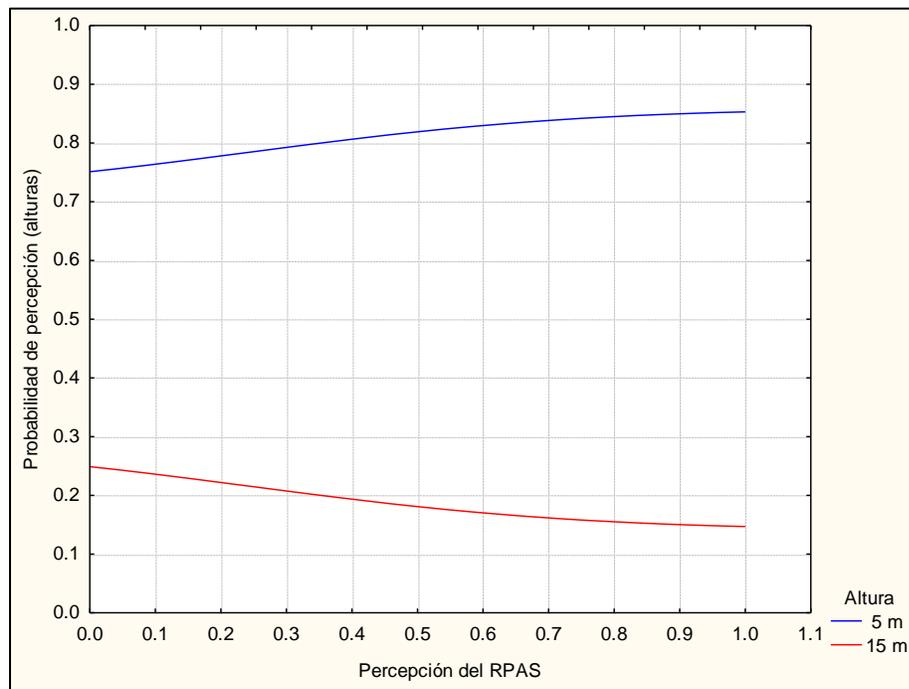


Figura 21. Gráfico del MRCN, la línea azul muestra la probabilidad de que una tortuga golfina perciba el RPAS a 5 m de altura, y la línea roja a 15 m de altura.

Otro resultado obtenido del MRCN se muestra en la Figura 22, en la cual se representan las cuatro etapas del proceso de anidación de la tortuga golfina, en ella se muestra que la etapa de anidación con mayor probabilidad de ser vulnerable a la presencia del RPAS, es cuando la tortuga va “subiendo” por la playa, con valores ascendentes que van del 25 al 69% (línea roja). Por el contrario, cuando la tortuga se encuentra “desovando”, es cuando tiene la menor

probabilidad de ser vulnerable a la presencia del vuelo del RPAS (línea verde), con valores descendentes del 28 al 5% de probabilidad de ser influenciada y/o afectada por la presencia del RPAS.

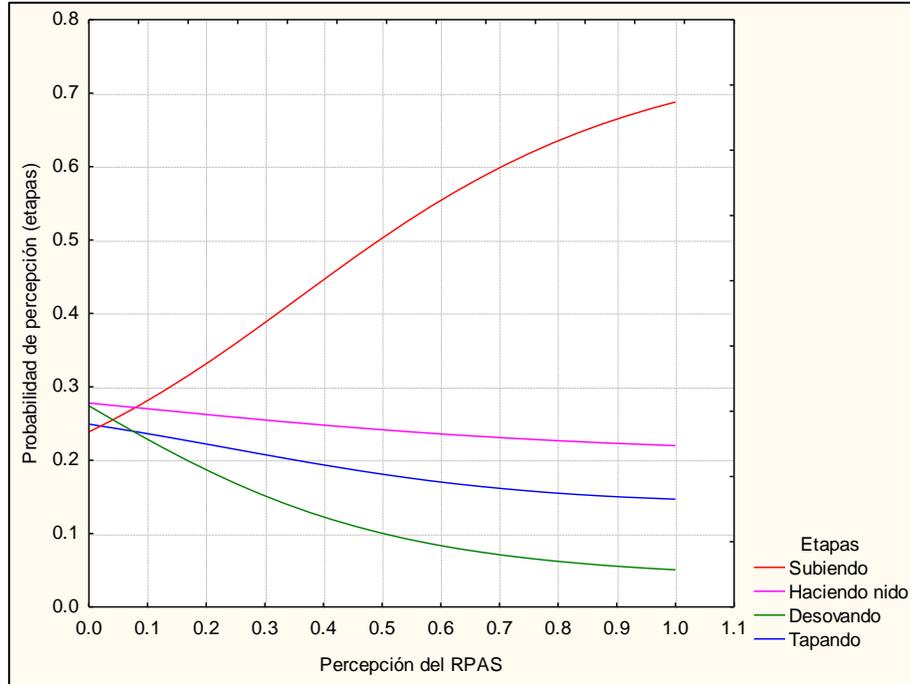


Figura 22. Gráfico del MRCN, las líneas muestran la probabilidad de que una tortuga golfinia perciba al RPAS en las diferentes etapas del proceso de anidación: subiendo en rojo, haciendo nido en rosa, tapando en azul y desovando en verde.

8. Discusión

8.1 Implementación de un RPAS

El presente estudio, comprueba que los RPAS son una herramienta que tiene la capacidad de complementar, reforzar y mejorar las estrategias tradicionales de monitoreo poblacional de tortugas marinas en particular de la tortuga golfinia, ya que maximizan la probabilidad de detectar individuos. Así mismo, permiten crear nuevos métodos eficientes, confiables y rentables para la evaluación del comportamiento, la abundancia y la distribución de poblaciones silvestres (Hodgson *et al.* 2013, Bevan *et al.* 2015, Sykora-Bodie *et al.* 2018). Es por ello,

que se anticipa que los RPAS se convertirán en herramientas básicas y necesarias para el monitoreo de vida silvestre tanto marina como terrestre.

El uso de un RPAS multirotor (Mavic Pro) para este estudio resultó ventajoso, debido a la posibilidad de despegarlo y aterrizarlo de manera vertical, de poder transportarlo con facilidad por una sola persona, de su fácil maniobrabilidad y estabilidad de vuelo al momento de obtener imágenes y videos, así como de realizar vuelos de seguimiento y estacionarios sobre las tortugas golfinas. Una de las limitantes de vuelo de los RPAS son las velocidades de fuertes vientos; autores como Goebel *et al.* (2015) describen que los vientos fuertes pueden desestabilizar el vuelo comprometiendo la calidad y la resolución de las imágenes. Para compensar las limitaciones provocadas por los fuertes vientos, estos autores afirman que un mayor tamaño del RPAS y un mayor número de rotores permitirá un vuelo estable y confiable. Durante los vuelos realizados en este estudio se registraron velocidades de viento de 13 km/h en promedio (Weather Spark 2019), menores a los registrados por Bevan *et al.* (2015) de 16 km/h, por lo cual se afirma que un RPAS cuadricóptero puede realizar vuelos estables y seguros con velocidades de viento de hasta 16 km/h, ya que velocidades de viento por debajo de este valor, permitieron vuelos seguros y la toma de imágenes de alta resolución. Por otro lado, se afirma que en playa Escobilla es confiable utilizar un RPAS cuadricóptero, puesto que se tienen velocidades de viento mínimas de los 10.8 km/h y máximas de 13.7 km/h (Weather Spark 2019), por lo cual no existe la necesidad de optar por un RPAS de mayor tamaño y con más rotores. Sin embargo, se sugiere monitorear las condiciones climatológicas (viento y lluvia) antes de realizar vuelos.

Al inicio de este estudio se contempló utilizar una cámara con visión nocturna (Runcam owl) adaptada al RPAS (Mavic Pro) para realizar vuelos nocturnos y cubrir un día completo de arribada de tortuga golfinas. Desafortunadamente y por cuestiones técnicas no fue posible cubrir la parte nocturna de las arribadas, al no poder incluir la cámara con visión nocturna. Por este motivo, los vuelos en este estudio se realizaron únicamente durante la parte

diurna de las arribadas de tortuga golfina, en horario similar al utilizado por Bevan *et al.* (2015) en sus estudios de tortugas marinas.

8.2 Toma de imágenes aéreas y construcción de ortomosaicos

Para disponer de una estrategia que permitiera realizar conteos confiables y repetibles, se recurrió a la toma de imágenes aéreas y videos en tiempo real (Hodgson *et al.* 2013, Seymour *et al.* 2017, Bevan *et al.* 2018, Sykora-Bodie *et al.* 2018). Las imágenes aéreas presentan la ventaja de poder ser archivadas y su información no sufre cambios, por lo que pueden volver a ser consultadas y verificadas por más de un especialista (Hodgson *et al.* 2013, Goebel *et al.* 2015). Para la captura autónoma de imágenes aéreas, es necesario contar con una buena planeación y programación de un plan de vuelo (Goebel *et al.* 2015). En la actualidad existen diferentes programas y aplicaciones que permiten generar y ejecutar planes de vuelo para un RPAS. En el presente estudio, se utilizó la aplicación DroneDeploy para generar y ejecutar los planes de vuelo, esto permitió detallar y ajustar una malla georreferenciada sobre el área de arribada, en la cual se estructuró un vuelo en forma de “S”, esto con la finalidad de cubrir el ancho de la playa (desde la rompiente de marea hasta la vegetación) y con una longitud máxima que permitió la carga de una batería que en promedio fue de 11 minutos (± 2.09 min. SD). Algunos autores como Escalante-Torrado *et al.* (2016), han referido que los parámetros requeridos para el plan de vuelo son la altura y el traslape de las imágenes aéreas; además, sugieren que, a mayor altura de vuelo la resolución de los objetos (medida en cm/píxel) en el suelo es menor y viceversa. Estos autores también proponen que el porcentaje de traslape (longitudinal y transversal) apropiado debe ser entre el 60 y 80% o más entre las imágenes capturadas, según los requerimientos de la investigación. Los parámetros utilizados en el presente estudio estuvieron dentro de lo sugerido por Escalante-Torrado *et al.* (2016) y dieron excelentes resultados.

Existen diferentes programas o software para el procesamiento y construcción de un ortomosaico a partir de imágenes aéreas, como lo son ERDAS IMAGINE, Pix4d, PHOTOMOD, SOCET SET, entre otros.

Particularmente, en este estudio la construcción de los ortomosaicos se realizó con el software Agisoft PhotoScan Professional (Agisoft 2015), este programa resultó ser adecuado para el procesamiento de las imágenes y la obtención de los ortomosaicos. Además, tiene la ventaja de contar con una interfaz fácil y amigable de utilizar, permitiendo hacer y guardar cada paso del proceso de construcción de cada ortomosaico.

A diferencia del presente estudio, Hodgson *et al.* (2013), Bevan *et al.* (2016) y Sykora-Bodie *et al.* (2018), realizaron conteos en imágenes aéreas individuales y debido a esta decisión, tuvieron algunos inconvenientes como el conteo doble de individuos en zonas de traslape. Para corregir este problema, eliminaron las zonas de traslape perdiendo el registro de los individuos presentes en ellas. En cambio, en el presente estudio se realizaron los conteos de tortugas a partir de ortomosaicos, tal como lo realizaron Goebel *et al.* (2015), Seymour *et al.* (2017), Linchant *et al.* (2018) y Ramos *et al.* (2018). Esta estrategia favoreció los conteos de tortugas, haciéndolos fáciles, precisos y en menor tiempo; permitió aprovechar el total de la imagen; así como estimar el margen de error de cada conteo y calcular sus índices de confianza. Cabe mencionar que entre las principales ventajas de los conteos a partir de ortomosaicos, es que pueden ser replicados y automatizados. En el presente estudio, se utilizó el programa Picterra©2019, el uso de este programa aportó además del total de tortugas presentes, sus coordenadas individuales. Esta información podría ser utilizada para futuros proyectos, en los que se busque identificar el desplazamiento de las arribadas a través de la playa durante cada temporada. Cabe resaltar que los ortomosaicos obtenidos a partir de las imágenes aéreas, además de contener el número de tortugas, tienen registros del número de turistas que asisten y se distribuyen en ciertas áreas de la arribada, el número de aves y perros presentes en la playa, además, el número de saqueadores de huevos y sus zonas de acceso. Todos estos datos pueden ser obtenidos con el programa Picterra©2019, calibrando y automatizando el conteo individual de acuerdo con la información requerida.

8.3 Comparación de métodos de conteo

Autores como Goebel *et al.* (2015), realizaron comparaciones entre métodos de conteo directo vs. conteo automatizado, y reportaron que no existe diferencia significativa entre ambos. En el presente estudio, se determinó que no existen diferencias significativas entre los CD (conteos directos) (± 192.34 DE) de tortugas anidadoras realizados por personal de la CONANP y los conteos automatizados (± 368.22 DE) obtenidos con el programa Picterra©2019 en ortomosaicos. Sin embargo, según Hodgson *et al.* 2013 y Goebel *et al.* 2015 los conteos automatizados tienen mayor precisión, permiten realizar estimaciones de tamaño poblacional con mayor confiabilidad y sobre todo tienen la ventaja de la automatización, la réplica y un menor costo operacional. El presente estudio, difiere a la afirmación de los autores antes mencionados, referente a la precisión de los conteos automatizados, puesto que la DE del conteo automatizado presenta mayor varianza que el CD, a pesar de que los conteos directos de tortugas golfinas realizados por personal de la CONANP, se realizaron a bordo de un ATV, que de manera ideal los observadores deben mantener su mirada fija en una sola dirección (uno con dirección al mar y otro con dirección a la vegetación o dunas), para registrar el total de tortugas presentes dentro de su campo visual. Pero en la realidad, se enfrentan a lo siguiente: a) es difícil mantener una trayectoria recta del ATV por las irregularidades de la playa, principalmente por la presencia de un gran número de tortugas; b) es difícil mantener la mirada fija en una sola dirección por un tiempo prolongado y percibir con claridad a las tortugas amontonadas y a las más lejanas; c) el desplazamiento tanto del ATV como de las tortugas, puede confundir al observador al momento de realizar el registro, promoviendo la omisión o el conteo doble de una tortuga; d) las irregularidades de la playa, así como de objetos grandes (como troncos), limitan el campo visual del observador, ocultando tortugas a su paso; e) su eficacia es vulnerable a causa de la fatiga humana por los largos periodos de conteo. En contraparte, en los conteos automatizados: a) el área se encuentra “fija o congelada en el tiempo”; b) la vista aérea abarca el ancho total de la playa, de manera que las irregularidades del

terreno no afectan el registro de tortugas; c) se mantienen estándares de calidad elevados, sin importar los periodos largos de conteo (aunque se requiere una mayor cantidad de pruebas y prolongar los tiempos de conteo para demostrar que la eficiencia de la automatización de los conteos no disminuye debido al factor humano).

8.4 Estimación del número de nidadas en ortomosaicos

Para la estimación de nidadas de tortuga golfina, se retomó un método que fue utilizado en playa Escobilla hace poco más de una década y que actualmente es implementado en playa Morro Ayuta (Albavera-Padilla y González-Padilla, CMT, com. pers. 2019). A dicho método, se le hicieron modificaciones como la implementación de un RPAS (para la toma de imágenes aéreas), la automatización de los conteos en ortomosaicos por medio del programa Picterra©2019, lo que permite la réplica de los conteos y la estimación de intervalos de confianza de sus conteos. Para poner a prueba el método rescatado y actualizado, se comparó con el método de transecto por franjas en un tiempo fijo, requisito fundamental de acuerdo con Valverde & Gates (2000), quienes refieren que un método (nuevo o existente) que quiera ser utilizado para la estimación de nidadas en playas de arribada, debe ser puesto a prueba y validado frente a una arribada de tamaño conocido.

En este trabajo solo se obtuvieron dos ortomosaicos que coincidieron con la toma de datos a partir de transectos (CONANP) para su comparación, a pesar de ello, los resultados se obtuvieron con un menor esfuerzo operacional, pero con un grado de precisión aceptable, lo que permitió estimar un número de nidadas de tortuga golfina dentro de los intervalos de confianza proporcionados por el programa en línea “Portal arribada” (Valverde 2013). Cabe destacar que los valores estimados en este trabajo siempre estuvieron dentro de los límites superior e inferior arrojados por el método de transecto por franjas en un tiempo fijo, independientemente del valor de probabilidad de éxito de anidación (entre 0.43 y 0.64), como se observa en la Tablas V.

Este resultado constituye un primer paso, para la mejora en la estimación del número de nidadas en playa, con un método más preciso y con menor esfuerzo operacional (horas hombre); es necesario implementar cámaras nocturnas para lograr un conteo confiable a partir de estas imágenes nocturnas. A la par, será necesario realizar un muestreo representativo de la probabilidad de éxito de anidación, que abarque las variaciones espacio-temporales, tanto en una arribada, como a lo largo de una temporada completa. Una vez optimizado el método para la parte nocturna de las arribadas, y conociendo mejor la probabilidad de éxito de anidación, será necesario implementar el método en más de una arribada completa en diferentes intervalos de tiempo para determinar la frecuencia de toma de imágenes aéreas, con ello se estaría en condiciones de evaluar y validar esta metodología. Aunque el método de transecto por franjas en un tiempo fijo tiene la virtud de ser estadísticamente robusto, en la actualidad, la capacidad operacional se ve rebasada en esfuerzo humano y recursos económicos; en cambio, la actual propuesta puede ser estadísticamente confiable y a la vez reducir costos (combustibles, número de personal) y tiempo de monitoreo.

8.5 Respuesta conductual de la tortuga golfina ante el RPAS

Con respecto a las observaciones del comportamiento de anidación de la tortuga golfina, estas solo se pudieron llevar a cabo durante la parte diurna de la arribada, por lo que sería necesario realizar un estudio similar durante la noche. Esto complementarían la información, pero la probabilidad de perturbar a las tortugas anidadoras aumentaría, además sería necesario contemplar: a) el esfuerzo de un seguimiento puntual; b) el requerimiento de equipo especial (cámaras con infrarrojo, punteros láser e iluminación roja); c) distancias de observación ≥ 20 m y en ocasiones de arrastrarse detrás de cada tortuga para evitar perturbar su comportamiento, lo que implicaría pérdida de información visual (movimientos y reacciones) (Hailman & Elowson 1992, Lindborg *et al.* 2019). En el presente estudio se utilizaron videos capturados en tierra de manera convencional por un observador, como lo realizaron Lindborg *et al.*

(2019) y además se complementó con videos aéreos (1080 HD) al implementar un RPAS, a una altura de 5 m se pudieron registrar detalladamente los movimientos y reacciones de cada tortuga durante las cuatro etapas de anidación, por el contrario, a 15 m no se lograron registros detallados de conducta.

De un total de 129 tortugas anidadoras que fueron expuestas al vuelo de un RPAS, 110 (85%) no percibieron la presencia de este, pero 19 (15%) si lo percibieron y reaccionaron. El MRCN rebeló que la tortuga golfinas tuvo mayor probabilidad (del 0.75 al 0.85) de percibir y reaccionar al RPAS a una altura de 5 m que a 15 m (del 0.25 al 0.15). Sin embargo, se debe aclarar que las tortugas que reaccionaron ante el RPAS solo representan el 15% del total, aunque sus reacciones fueron considerables, puesto que 11 de ellas abandonaron definitivamente su actividad y regresaron al mar, y ocho detuvieron su actividad por unos segundos y posteriormente continuaron con ella. Con estos resultados y lo reportado por Bevan *et al.* (2018) es posible afirmar que las tortugas marinas en proceso de anidación (golfinas y kikila), pueden percibir (visualmente) y responder a la presencia de un RPAS a alturas ≥ 5 m (mayor probabilidad de percepción) y hasta alturas de 15 m (menor probabilidad de percepción). Llama la atención que algunas tortugas golfinas en arribada hayan reaccionado significativamente a la presencia del RPAS en vuelos a baja altura, ya que suelen ser tolerantes a otras tortugas que se congregan con la misma finalidad de anidar, a los turistas que acuden a presenciar el fenómeno de arribada, así como a la presencia de perros domésticos pertenecientes a la comunidad de Escobilla que deambulan por la playa (Peralta & Luna, CONANP, com. pers. 2018).

Si bien los niveles de ruido emitidos por el Mavic Pro no fueron cuantificados en el presente estudio, es probable que sean similares a los niveles de ruido reportados por autores que utilizaron cuadricópteros, como es el caso de Vas *et al.* (2015) y Christiansen *et al.* (2016), quienes reportaron valores de ruido que van de los 60 a los 81 dB y en frecuencias de 60 a 150 Hz, en distancias que

van de 2 a 10 m de altura. Por otro lado, Martin *et al.* (2012), consideran que la tortuga verde tiene capacidad de audición de baja frecuencia (de 100 a 1,131 Hz) con la mejor sensibilidad a 200 y 400 Hz (110 dB). Por lo tanto, es posible considerar que las tortuga marinas, incluyendo la golfina, puedan detectar niveles de ruido emitidos por los RPAS (cuadricópteros) a frecuencias de 150 Hz a alturas de entre 2 y 10 m. Sin embargo, debe considerarse que los niveles de ruido ambiental o de fondo (producidos por los mismos animales), así como los del viento y de rompientes de olas en las costas, son iguales o superiores a los producidos por el RPAS (Goebel *et al.* 2015, Christiansen *et al.* 2016). Por lo tanto, se infiere que la tortuga golfina solo reacciona visualmente a la presencia del RPAS (puesto que se abordaron de manera frontal dentro de su campo de visión) y no al sonido emitido por sus hélices y rotores, debido a que, a una altura mínima de 5 m sobre la tortuga, el sonido emitido se ve disminuido y enmascarado por el ruido generado por la rompiente de las olas en la costa.

De las cuatro etapas en las cuales se dividió el proceso de anidación, el MRCN mostró que las tortugas tienen mayor probabilidad (69%) de ser influenciadas por la presencia del RPAS, cuando suben por la playa, ya que es probable que se encuentren alertas y susceptibles. Mientras que cuando desovan, tienen menor probabilidad (5%) de ser perturbadas, debido a que durante el desove se encuentran relajadas y sin movimiento, en una especie de trance (James & Melero 2015). Estos resultados coinciden con lo reportado por Witherington (1992), quien sugirió que las tortugas marinas son susceptibles a abandonar su proceso de anidación cuando: a) emergen del mar y se desplazan sobre la playa y b) cuando están cavando el nido y dándole forma a la cámara de anidación, sin embargo, en el presente estudio la probabilidad de ser influenciada durante esta etapa es apenas del 0.21. Así mismo, al igual que Bevan *et al.* (2018), es posible afirmar que tortugas marinas como la kikila y la golfina, en proceso de anidación pueden percibir y reaccionar a la presencia de un RPAS, pero las respuestas dependerán de la altura y de la forma de abordarlas.

Por último, derivado de los resultados obtenidos en el presente trabajo, es posible afirmar que alturas de vuelo del RPAS de 60 a 65 m, son ideales para la toma de imágenes aéreas para el conteo de tortugas a partir de ortomosaicos, ya que se obtiene una alta resolución y definición; además, a estas alturas el RPAS y los sonidos que emite, no representan amenaza alguna para el comportamiento de anidación de la tortuga golfina. Así mismo, es pertinente mencionar que, efectivamente es posible realizar estudios de comportamiento de anidación de tortugas marinas utilizando vuelos de RPAS a bajas alturas (≥ 5 m), pero estas deben ser abordadas preferentemente desde la parte trasera evitando su campo visual en todo momento.

9. Conclusiones

En el presente estudio se implementó con éxito el uso de un RPAS como método alternativo para el conteo de tortugas golfinas y para la estimación del número de nidadas en arribada a partir de imágenes aéreas. De esta manera, se da pauta a la implementación de esta herramienta para estudios poblacionales de tortugas marinas en playas de anidación tanto solitaria como de arribada.

No se encontraron diferencias significativas entre el conteo de tortugas *in situ* (desde un ATV) y el conteo de tortugas a partir de imágenes aéreas. Sin embargo, el uso de imágenes aéreas minimiza la probabilidad de sesgo de percepción a casi cero (0.01 ES, $\alpha = 0.05$ de confianza), por ofrecer una visión perpendicular al observador, que resulta más adecuada que la visión horizontal. La alta precisión de las imágenes aéreas tomadas con un RPAS permite realizar conteos efectivos y confiables, aumentando el poder estadístico para detectar tendencias poblacionales.

Las estimaciones de nidadas en segmentos de arribada, calculadas con el método propuesto, tuvieron una alta precisión, además los valores calculados se ubicaron dentro de los intervalos de confianza proporcionados por el método de transectos por franjas en tiempo fijo. Sin embargo, es necesario seguir evaluado

la utilidad del método propuesto al ponerlo a prueba durante las noches de arribada e incluso durante toda una temporada.

Es menor la probabilidad que tiene una tortuga para detectar a un RPAS, sin embargo, cuando lo hace es más probable que lo haga cuando el RPAS vuela a una altura de 5 m y es más factible que lo detecte mientras sube por la playa que mientras hace el nido, desova o tapa. Si bien se logró comprobar que la tortuga golfina tiene la capacidad de percibir y responder a la presencia de un RPAS, se debe aclarar que esto no significa que en general sean altamente sensibles a esta herramienta, puesto que solo el 15% de las hembras muestreadas reaccionaron a la prueba.

Por último, se comprobó que los RPAS tiene la capacidad de obtener registros de gran precisión y confiabilidad, disminuyendo considerablemente el sesgo en la toma de datos, por lo cual se considera que son una herramienta confiable y rigurosa para el monitoreo de tortugas marinas. Los registros que se obtienen son permanentes y esta cualidad permite verificar posibles errores. Adicionalmente, pueden disminuir los costos de operación del monitoreo de poblaciones de tortugas marinas que anidan en arribada.

10. Recomendaciones

Para el caso de estudios con tortugas marinas en playas de anidación (masiva o solitaria) se implementó un RPAS (cuadricóptero), ya que aporta grandes beneficios a los métodos tradicionales, disminuyendo costos referentes a los gastos de combustibles y mantenimiento de los ATV's. Sería ideal contar con al menos tres baterías, para desarrollar el trabajo en campo. Es recomendable contar con personal especializado o de conocimientos básicos, para llevar acabo las actividades operacionales del RPAS, además de tener conocimientos para: el procesamiento de las imágenes (para crear ortomosaicos) y automatización de conteos por medio de softwares y/o programas, para obtener resultados certeros, precisos y confiables. Para poder analizar las imágenes y demás requerimientos de SIGyPR, es recomendable utilizar equipos de cómputo que

cuenten con memoria de acceso aleatoria (RAM) de al menos 16 GB, para soportar y ejecutar los programas requeridos de manera óptima, así como, también contar con un procesador potente de octava generación y un disco duro de un terabyte como capacidad mínima, para resguardar la información generada.

Para futuras investigaciones que requieran de imágenes aéreas, se sugiere obtener imágenes a alturas de 60 a 65 m, ya que proveen una excelente calidad y resolución, las cuales permitirán realizar análisis visuales y estadísticos confiables en menor tiempo. Se recomiendan estas alturas porque se comprobó que facilitan identificar y cuantificar organismos pequeños como lo son tortugas marinas en playas de anidación.

Respecto a los conteos en imágenes aéreas, se recomienda construir ortomosaicos y a partir de ellos realizar los conteos, esto con la finalidad de utilizar al máximo la información capturada en cada imagen y así evitar conteos erróneos al subestimar o sobreestimar datos y de esta forma obtener resultados confiables en menor tiempo de análisis.

Para el conteo, se recomienda automatizar esta actividad por medio de un programa, para el presente estudio se utilizó el programa en línea y de uso libre Picterra©2019, puesto que los resultados obtenidos permitieron estimar un margen de error, obtener índices de confianza y principalmente, el conteo puede ser replicado por el mismo especialista o por otros más, que puedan mejorar la técnica. Además, con la automatización de los conteos se elimina el error humano provocado por la fatiga, y los resultados obtenidos tienen mayor precisión, son confiables y se obtienen en menor tiempo.

Una recomendación esencial es realizar un muestreo exhaustivo que permita verificar la variación espacio temporal del éxito de anidación durante una arribada completa, así como, realizar comparaciones referentes a la estimación de nidadas por secciones de arribada, usando la probabilidad de éxito de anidación específico de ese segmento vs. la estimación global de nidadas de toda la arribada, usando una probabilidad de éxito de anidación promedio. Si los

resultados de esas comparaciones de estimación de nidadas son similares, sería posible utilizar únicamente el valor promedio de éxito de anidación para la siguiente arribada, por lo tanto, ya no sería necesario realizar los muestreos de éxito de anidación. Por otro lado, se recomienda dar seguimiento a un número de tortugas ≥ 113 , puesto que los valores mínimos y máximos del éxito de anidación se han obtenido de alrededor de 113-114 tortugas.

El presente estudio implementó un RPAS de manera eficiente para vuelos diurnos durante la arribada de tortuga golfina, sin embargo, es necesario implementarlo y ponerlo a prueba de acuerdo con la metodología establecida durante la parte nocturna de arribada. Para cubrir los vuelos nocturnos se sugiere probar una cámara térmica con infrarrojo, tal como la implementaron Seymour *et al.* (2017), ellos afirman que es posible identificar, localizar y contar organismos de vida silvestre. Actualmente existen cámaras que pueden ser adaptadas a los RPAS y ser puestas a prueba y con grandes posibilidades de obtener resultados favorables para el monitoreo nocturno de tortugas marinas, ejemplo de ello es la cámara senseFly Duet T, del grupo Parrot, que cuenta con dos sensores ideales para crear mapas térmicos geo-precisos y modelos digitales 3D de superficie; incluye una cámara térmica infrarroja de alta resolución (640 x 512 píxeles) y una cámara RGB (5472 x 3648 píxeles) senseFly SODA, la cual es recomendada por sus desarrolladores para conteo y detección de vida silvestre. Otra cámara térmica es la Zenmuse XT, desarrollada por FLIR y utilizada por DJI, la cual fue desarrollada exclusivamente para la termografía aérea, con dos modelos (640 x 512 o 336 x 256 píxeles), recomendada para inspección, control de incendios, búsqueda y recate entre otros fines.

Por lo cual, se sugiere realizar pruebas con imágenes térmicas de tortugas marinas que anidan durante la noche, ya que es posible contrastar su marca térmica de la marca térmica que genera la arena, debido a la diferencia entre los gradientes térmicos. Aun con esta posibilidad, se debe considerar la presencia de aves y nidos depositados por otras tortugas, que estarían

emitiendo su propia marca térmica. Seymour *et al.* (2017) afirma que es posible identificar firmas térmicas de diferentes organismos, pero de manera individual.

La implementación de un RPAS, especialmente para playa Escobilla tiene un gran potencial como herramienta de investigación, la cual vale la pena y es necesario poner a prueba para responder diversas preguntas, tales como: ¿existe un patrón de formación de la tortuga golfina, dentro de las aguas cercanas a la costa para poder acceder a la playa?, ¿es posible registrar video-gráficamente la cópula de la tortuga golfina y que distancia de la costa?, ¿cuántas especies de aves se congregan en playa Escobilla?, ¿cuáles son las zonas de acceso y de mayor sensibilidad para el saqueo de ejemplares vivos y de huevos de tortuga golfina?, entre muchas otras preguntas más de investigación.

11. Referencias bibliográficas

Abreu-Grobois, F.A. 1999. Genética poblacional y filogeografía de las tortugas marinas golfina (*Lepidochelys olivacea*) y laúd (*Dermochelys coriacea*) en el Pacífico mexicano. In: Informe final SNIBCONABIO proyecto No. G007. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. México D.F.

Agisoft LLC. 2015. Agisoft Photoscan professional edition. Version 1.2.4. (64 bit)

Bernardo, J & P.T Plotkin. 2007. An evolutionary perspective on the arribada phenomenon and reproductive behavioral polymorphism of olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*). Pp: 59-87. *In*: Plotkin, P.T. (ed.), *Biology and conservation of ridley sea turtles*. 356 pp.

Bevan, E., T. Wibbels, B.M. Nájera, M.A. Martínez, L.A. Martínez, F.I. Martínez, J.M. Cuevas, T. Anderson, A. Bonka, M.H. Hernández, L.J. Pena & P.M. Burchfield. 2015. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Monitoring Sea Turtles in Near-Shore Waters. *Marine Turtle Newsletter* 145: 19-22.

- Bevan, E., T. Wibbels, E. Navarro, M. Rosas, B. M. Z. Najera, L. Sarti, F. Illescas, J. Montano, L. J. Pena & P. Burchfield. 2016. Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for locating, identifying, and monitoring courtship and mating behavior in the green turtle (*Chelonia mydas*). *Herpetological Review*. 47. 27-32.
- Bevan, E., S. Whiting, T. Tucker, M. Guinea, A. Raith & R. Douglas. 2018. Measuring behavioral responses of sea turtles, saltwater crocodiles, and crested terns to drone disturbance to define ethical operating thresholds. *Plos One* 13(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0194460
- Bowen, B.W., A.B. Meylan, J.P. Ross, C.J. Limpus, G.H. Balazs & J.C. Avise. 1992. Global population structure and natural history of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) in Terms of Matriarchal Phylogeny. *Evolution* 46(4): 865-881.
- Casas-Andréu, G. 1978. Análisis de anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. *Centro de Ciencias del Mar y Limnología., UNAM*, 5(1): 141-157.
- Cheng, Y., D. Xue & Y. Li. (2007). A fast mosaic approach for remote sensing images. *International conference on mechatronics and automation, 2009–2013*. DOI:10.1109/ICMA.2007.4303859
- Christiansen, F., L. Rojano-Doñate, P.T. Madsen & L. Bejder .2016. Noise levels of multi-rotor unmanned aerial vehicles with implications for potential underwater impacts on marine mammals. *Frontiers in Marine Science*, 3, 277.DOI: 10.3389/fmars.2016.00277
- CIT. 2014. Análisis de datos de playas índices de anidación de la CIT (2009-2013) CIT-CC11-2014-Tec.7. Secretaría Pro Tempore CIT, Virginia Estados Unidos.

- Colomina, I. & P. Molina. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013
- CONANP. 2009. Estudio previo justificativo para establecer el Área Natural Protegida en categoría de Santuario Playa de Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca. 78 pp.
- CONANP. 2017. Estudio previo justificativo para la modificación de la declaratoria Santuario Playa de Escobilla. Oaxaca. 129 pp.
- DGAC. 2017. Circular obligatoria. Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). 55 pp.
- DOF. 1986. Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se determinan como zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control, de las diversas especies de tortuga marina, los lugares en que anida y desova dicha especie. México.
- DOF. 2002. Diario Oficial de la Federación. Acuerdo por el que se determinan como áreas naturales protegidas, con la categoría de santuarios, a las zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de las diversas especies de tortuga marina, ubicadas en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas y Yucatán, identificadas en el decreto publicado el 29 de octubre de 1986.
- DOF. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

- DOF. 2012. Diario Oficial de la Federación. Acuerdo por el que se destina al servicio de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, la superficie de 361, 839. 17 metros cuadrados de zona federal marítima terrestre ubicada en el Santuario Playa La Escobilla, localidad La Escobilla, Municipio de Santa María Tonameca, Estado de Oaxaca, con el objeto de que la utilice para protección.
- DOF. 2013. NORMA Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012. Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación.
- Eckert, K., K. Bjorndal, F. Abreu-Grobois & M. Donnelly. 2000. Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE (4).
- Escalante-Torrado, J., Cáceres-Jiménez, J., & Porras-Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Revista Tecnura*, 20(50), 119-140. DOI: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016. 4.a09
- Gates, C.E., R.A. Valverde, C.L. Mo, A.C. Chaves, J. Ballesterro & J. Peskin. 1996. Estimating arribada size using a modified instantaneous count procedure. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 1:275-287.
- Gerrodette, T. & B.L. Taylor. 2000. Estimación del tamaño de la población. Pp: 78-82, *In*: Eckert, K., K. Bjorndal, F. Abreu-Grobois. & M. Donnelly (eds.), *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE (4).
- Goebel, M.E., W.L. Perryman, J.T. Hinke, D.J. Krause, N.A. Hann, S. Gardner & D.J. LeRoi. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology* 38(5), pp 619-630. DOI: 10.1007/s00300-014-1625-4.

- Hailman, J. P & A.M. Elowson. 1992. Ethogram of the nesting female loggerhead (*Caretta caretta*). *Herpetological*, 48(1): 1-30
- Hodgson, A., N. Kelly & D. Peel. 2013. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. *Plos One* 8(11): e79556
DOI: 10.1371/journal.pone.0079556.
- Hodgson, J. C., R. Mott, S. M. Baylis, T. T. Pham, S. Wotherspoon, A. D. Kilpatrick, R.R. Segaran, I. Reid, A. Terauds & L. P. Koh. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*. 9:1160-1167. DOI:10.1111/2041-210X.12974.
- INEGI. 2014. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca. INEGI 2012 (eds.) México. 32 pp.
- INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 1686 pp.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological methodology*. 2a ed., Addison Welsey Longman Inc. Menlo Park, California, 620p.
- James, R. & D. Melero. 2015. Anidación y conservación de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*) en playa Drake, península de Osa, Costa Rica (2006 a 2012). *Revista de Biología Tropical*. 63(1), 117-129.
- Linchant, J., S. Lhoest, S. Quevauvillers, P. Lejeune, C. Vermeulen, J.S. Ngabinzeke & P. Bouché. 2018. UAS imagery reveals new survey opportunities for counting hippos. *Plos One*. 13(11). DOI: 10.1371/journal.pone.e0206413.
- Lindborg, R., E. Neidhardt, J.R. Smith, B. Schwartz, V. Hernandez, A. Savage & B. Witherington. 2019. An ethogram describing the nesting behavior of green sea turtles (*Chelonia mydas*). *The herpetologists' league*. DOI: 10.1655/D-18-00015.

- Limpus, C.J. 1995. Global overview of the status of marine turtles: a 1995 viewpoint. *In*: Bjorndal, K. A. (ed.), *Biology and conservation of sea turtles*. 2a ed., Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Martin, K. J., S.C. Alessi, J.C. Gaspard, A.D. Tucker, G.B Bauer & D.A Mann. 2012. Underwater hearing in the loggerhead turtle (*Caretta caretta*): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms. *Journal of Experimental Biology*, 215(17), 3001-3009.
- Márquez, R. & H. Van Dissel. 1982. A method for evaluating the number of massed nesting olive ridley sea turtles, *Lepidochelys olivacea*, during an arribazon, with comments on arribazon behavior. *Neth. J. of Zool.* 32(3): 419-425.
- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica México, Pp. 104
- Márquez, R. 2000. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica México, (N. 597.92 M3).
- Márquez, R. 2002. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. 3a ed., La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica, México, (114): 197
- Peñaflores, C., J. Vasconcelos, E. Albavera & R. Márquez. 1998. Twenty-five years nesting of olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* in Escobilla Beach, Oaxaca, México. *In*: Abreu-Grobois, F.A., R. Briseño-Dueñas, R. Márquez & L. Sarti (comp.). *Proceedings of the eighteenth international sea turtle symposium*. 3-7 March 1998, Mazatlán, Sinaloa, México. U.S. Dep. Commer, NOAA Technical Memorandum. (436): 27- 29
- Peñaflores, C., J. Vasconcelos, E. Albavera & C. Jiménez. 2001. Especies sujetas a protección especial. Tortuga golfina. Pp. 1067-1079. *In*: Cisneros, M.A., L.F. Beléndez, E.M. Zárate, M.T.L.C. López, C. Saucedo & C. del Tovar (eds.), *Instituto Nacional de la Pesca/SEMARNAT*, México.

- Peralta, E. & M.T. Luna. 2016. Capítulo 4. Tortuga golfina *Lepidochelys olivacea*. Pp. 83-99. *In*: Gaona-Pineda, O. & A.R. Barragán-Rocha (Coord.). Las tortugas marinas en México: logros y perspectivas para su conservación. Soluciones Ambientales ITZENI (Ed.). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, 240 pp.
- Picterra. 2019. AI object detection on drone & satellite images. Picterra Beta platform ©2019 by Picterra. Ecublens, Switzerland.
- Plotkin, P. 1994. Migratory and reproductive behavior of the olive ridley turtle, *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829), in the Eastern Pacific Ocean. Ph.D. diss. Texas A&M University, College Station.
- Plotkin, P., R. Byles, D. Rostal & D. Owens. 1995. Independent vs. Socially facilitated migrations of the olive ridley, *Lepidochelys olivacea*. *Marine Biology*, 122(1), 137-143.
- Plotkin, P.T. 2007. Introduction. Pp: 3-6. *In*: Plotkin, P.T. (Ed.), *Biology and conservation of ridley sea turtles*. JHU Press. 356 pp.
- Ramos, E.R., B. Maloney, M. Magnasco & D. Reiss. 2018. Bottlenose dolphins and antillean manatees respond to small multi-rotor unmanned aerial systems. *Frontiers in Marine Science*. Volume 5, pp. 316. DOI: 10.3389/fmars.2018.00316
- Rees, A.F., L. Avens, K Ballorain, E. Bevan, A.C. Broderick, R.R. Carthy, M.J. Christianen, G. Duclos, M. Heithaus, D.W. Johnston, J.C. Mangel, F. Paladino, K.L. Pendoley, R.D. Reina, N.J. Robinson, R. Ryan, S.T. Sykora-Bodie, D. Tilley, M. R, E. Whitman, P.A. Whittock, T. Wibbels & B.J. Godley. 2018. The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation: A review and future directions. *Endangered Species Research*, 35: 81–100. DOI: 10.3354/esr00877.
- Seymour, A.C., J. Dale, M. Hammill, P.N. Halpin & D.W. Johnston. 2017. Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned

- aircraft systems (UAS) and thermal imagery. Scientific Reports. DOI: 10.1038/srep45127.
- Spotila, J.R. 2004. Life cycles: From sand to sea. Pp: 13 – 29. *In*: Sea turtles: A complete guide to their biology, behavior, and conservation. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London. 227 pp.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Sykora-Bodie, S., V. Bezy, D.W. Johnston, E. Newton & K.J. Lohmann. 2018. Quantifying nearshore sea turtle densities: Applications of unmanned aerial systems for population assessments. Scientific Reports. DOI: 10.1038/s41598-017-17719-x.
- Triola, M. F. 2004. Estadística. 9ª ed., Pearson Educación. México, 872 pp.
- UICN. 2017. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. The Red List of Threatened Species. *Lepidochelys olivacea* (Olive Ridley) Status: Vulnerable. Consultado el 30 de marzo de 2018: www.iucnredlist.org.
- Valverde, R.A. & C.E. Gates. 2000. Estudios de poblaciones en playas de arribadas. Pp: 64-69, *In*: Eckert, K., K. Bjorndal, F. Abreu-Grobois. & M. Donnelly (eds.), Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE (4).
- Valverde, R.A., C.M. Orrego, M.T. Tordoir, F.M, Gómez, D.S. Solís, R.A. Hernández, G.B. Gómez, L.S. Brenes, J.P. Baltodano, L.G. Fonseca & J.R. Spotila. 2012. Olive Ridley mass nesting ecology and egg harvest at Ostional Beach, Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*. 11(1): 1–11. DOI:10.2744/CCB-0959.1.
- Valverde, R.A. 2013. Arribada Portal: The globalization of arribada estimates. *Marine Turtle Newsletter*, (137), 16.

- Varo-Cruz, N., C. Monzón-Argüello, M. Carrillo, P. Calabuig & A. Liria-Loza. 2015. Tortuga olivácea - *Lepidochelys olivacea*. In: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Marco, A. (eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Vas, E., A. Lescroël, O. Duriez, G. Boguszewski & D. Grémillet. 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters*. 11(2) DOI: 10.1098/rsbl.20140754.
- Weather Spark. 2019. Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc. United States. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/8372/Clima-promedio-en-Santa-Mar%C3%ADa-Tonameca-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Witherington, B. E. (1992). Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting. *Herpetologica*, 31-39.

12. Anexos

I. Permiso de "Aprovechamiento no extractivo" Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNA, oficio (SGPA/DGVS/010946/18).

SEMARNAT
SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE
Oficio N° SGPA/DGVS/ 010946 /18
Ciudad de México, a 24 OCT 2018

C. SERGIO ISAÍAS GUTIÉRREZ CRUZ
UNIVERSIDAD DEL MAR, CAMPUS PUERTO ÁNGEL
CIUDAD UNIVERSITARIA, UNIVERSIDAD DEL MAR
C.P. 70902, SAN PEDRO PUCHTLA, OAXACA
Tel. (272) 135 09 35, Sergio_Gtz@outlook.com

En atención a su solicitud de Aprovechamiento No Extractivo para realizar la captura de imágenes y videos para estimar el número de nidadas de "tortuga golfina" *Lepidochelys olivacea*, por medio de un sistema aéreo pilotado remotamente en la Playa Escobilla, Oaxaca, la cual se recibió en la Dirección General de Vida Silvestre el 04 de septiembre de 2018 y se le asignó la Bitácora 09/00-0110/09/18, informo a Usted que con fundamento en los Artículos 32 Bis Fracciones III y XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 5ª Fracción XI, 79 Fracciones III, III, XIX, VI Y VII, 80 Fracción I, 83, 86 y 87 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 3 Fracciones II, III, XIX, XIV, 4, 5 Fracciones II, III, IV y VIII, 6, 76, 99 y 100 de la Ley General de Vida Silvestre, 132 y 133 del Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre, 19 Fracción XXV y 32 Fracción VI, XVIII y XXI del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de noviembre de 2012; las disposiciones relativas a la Norma Oficial Mexicana NOM-069-SEMARNAT-2010, que determina las especies y subespecies de Flora y Fauna Silvestre Terrestres y Acuáticas en peligro de extinción y al Oficio No. F00-DRE/SIPRO/TAT/14/18 de fecha 11 de octubre de 2018, emitido por la Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur de la CONANP, esta Dirección General Autoriza el Aprovechamiento No Extractivo para realizar la captura de imágenes y video para estimar el número de nidadas de "tortuga golfina" *Lepidochelys olivacea*, por medio de un sistema aéreo pilotado remotamente en el Santuario Playa Escobilla, Municipio de Santa María Tonameca, Oaxaca, actividades relacionadas con el proyecto de investigación denominado "Evaluación de un sistema aéreo pilotado remotamente para la estimación del número de nidadas en arribadas de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en Playa Escobilla, Oaxaca".

La presente autorización tiene una vigencia a partir de la expedición de la presente al 28 de febrero de 2019.

Queda la presente sujeta a las siguientes condicionantes:

Cumplir con las disposiciones Administrativas, Fiscales y de Sanidad exigibles por otras unidades administrativas de esta Secretaría y de otras Dependencias o de autoridades competentes en la materia.

Página 1 de 2
Ejemplar Nacional No. 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Alemán, C.P. 06700, Ciudad de México
Tel. (55) 5646 1000 / (55) 651 9600 ext. 1 www.gob.mx/semarnat

SEMARNAT
SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE
Oficio N° SGPA/DGVS/ 010946 /18

En la realización de las actividades mencionadas anteriormente, se responsabilizará al titular de la presente de los daños provocados o de cualquier impacto significativo que resulte sobre tortugas marinas o sobre las poblaciones de la Flora ó Fauna Silvestre y sus hábitats ó perturbación del ecosistema.

Previo a la realización de actividades en el Santuario Playa Escobilla, deberá con anticipación realizar el trámite CNANP-00-007 "Aviso de investigación con manipulación de flora y fauna", de manera presencial, ante la Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur, con domicilio en 2ª Oriente Norte No. 227, Colonia centro, palacio federal, Tercer Piso, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

En las actividades a realizar, deberá atender lo que corresponda en la Norma Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2000, "Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de la tortuga marina en su hábitat de anidación.

La operación del sistema aéreo a utilizar requiere de observancia rigurosa de la Circular Obligatoria 2017 de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), "Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio mexicano.

Atender de manera obligatoria, las observaciones y recomendaciones formuladas por el personal del Santuario Playa de Escobilla, relativas a asegurar la protección y bienestar de los ejemplares que se encuentren en el área de anidación, así como la protección de los visitantes en el Santuario.

El uso del RPAS en presencia de *Lepidochelys olivacea*, se deberá realizar a una altura mínima de 3.5 metros, tanto en tierra como en el mar y no deberá sobrevolar la zona cuando la velocidad del viento sea mayor a 20 km/hr o se presenten condiciones meteorológicas adversas (huracán, lluvia, viento, neblina o mar de fondo).

Con base al Capítulo IV, Artículo 98 de la Ley General de Vida Silvestre, el titular de la presente deberá presentar a esta Dirección General de Vida Silvestre y a la Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur (CONANP), en un plazo no mayor de 30 (TREINTA) días de concluida la vigencia de la presente, un informe que describa detalladamente las actividades realizadas.

Página 2 de 3
Ejemplar Nacional No. 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Alemán, C.P. 06700, Ciudad de México
Tel. (55) 5646 1000 / (55) 651 9600 ext. 1 www.gob.mx/semarnat

SEMARNAT
SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE
Oficio N° SGPA/DGVS/ 010946 /18

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas se libera de cualquier responsabilidad legal por los daños que sufran en sus bienes, equipos ó personas miembros del equipo de filmación ó aquellos causados a terceros, durante su estancia y desarrollo de las actividades que ampara la presente.

Queda estrictamente **prohibido** efectuar cualquier aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres, cualquiera que sea su estatus.

El incumplimiento de las condiciones aquí establecidas, dará origen a la instauración de un procedimiento administrativo ante la autoridad competente, para proceder a la cancelación de la autorización y a la aplicación de la legislación correspondiente, según sea el caso.

Notifíquese la presente resolución al C. Sergio Isaías Gutiérrez Cruz, por alguno de los medios legales previstos por el artículo 35 y demás relativos y aplicables de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.

ATENTAMENTE
EL DIRECTOR GENERAL

LIC. JOSÉ LUIS PEDRO FUNES IZAGUIRRE

"Por un uso eficiente del papel, séj copias de conocimiento de este oficio de remisión vía electrónica"

C. p. C. Joel González Moreno - Director General de Inspección y Vigilancia de Vida Silvestre, Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros, PROCEPA, v.oo. silvestre@procepa.gob.mx
C. Anselmo Rico Valdez - Coordinador de Asesoría de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental - e-mail: coordinacion.sgpa@semarnat.gob.mx
C. Tomás Víctor González Escobedo - Delegado Federal de la SEMARNAT en el Estado de Oaxaca - tomas.gonzalez@semarnat.gob.mx
C. Nerey García García - Delegado de la PROFEPA en el Estado de Oaxaca - nregarcia@profeпа.gob.mx
C. Cinthya Aurora Pérez Trujillo - Directora General de Operación Regional CONANP - cinthya.perez@conanp.gob.mx
C. Adrián Manuel Barreto - Director Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur - amendez@conanp.gob.mx
Subdirección de Comercio Nacional, Internacional y Otros Aprovechamientos.

Archivo General (09/00-0110/09/18)
C. Víde - Sergio Isaías Gutiérrez Cruz - Orión - Playa La Escobilla

Página 3 de 3
Ejemplar Nacional No. 223, Colonia Anáhuac, Delegación Miguel Alemán, C.P. 06700, Ciudad de México
Tel. (55) 5646 1000 / (55) 651 9600 ext. 1 www.gob.mx/semarnat

II. Sistema Aéreo Pilotado Remotamente (RPAS)

Existen diferentes tipos de aeronaves no tripuladas (UA, por las siglas de Unmanned Aircraft). La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), determina y especifica los diferentes tipos de UA como: Aeromodelos, Aeronaves Pilotadas a Distancia o Remotamente y Aeronaves Autónomas, existiendo a su vez combinaciones de estas (DGAC 2017).

El término UA no describe o especifica si la aeronave es autónoma o requiere ser pilotada a distancia o remotamente, por ello se usa en su lugar el término Aeronave Pilotada a Distancia (RPA, por las siglas de Remotely Piloted Aircraft), aunque solo se hace referencia al sistema y estructura que ejecuta el vuelo, que a su vez es controlada por un “piloto en tierra”. Cuando a la RPA, se le integra un sistema complementario de soporte y operación como: una estación de mando y control en tierra, enlaces de comunicación (telemetría, equipo de navegación), mecanismos de lanzamiento y recuperación, se define como RPAS (por las siglas de Remotely Piloted Aircraft System), en español se ha denominado como “Sistema Aéreo Pilotado Remotamente” (DGAC 2017).

Los RPAS en México

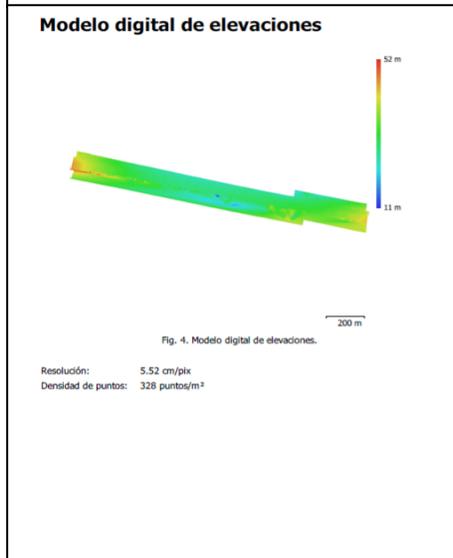
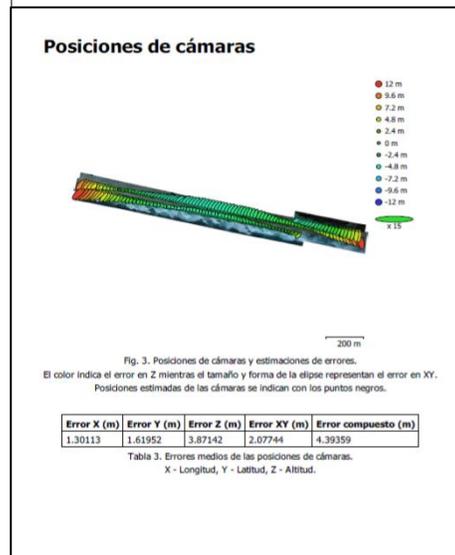
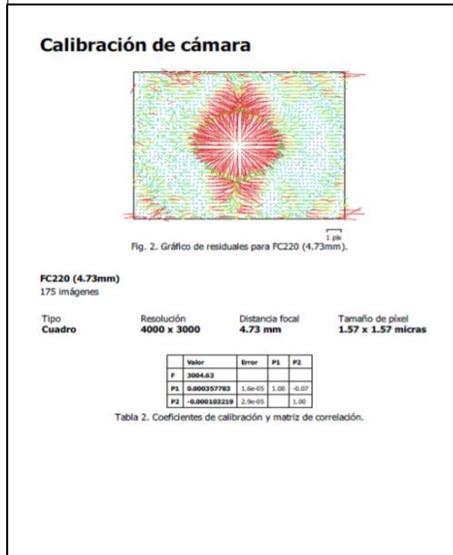
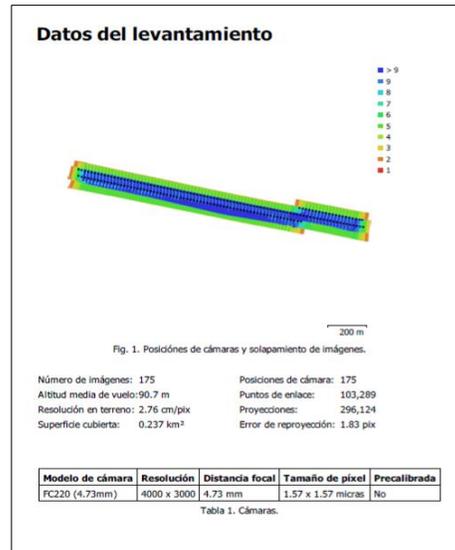
La dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, es la responsable de aprobar el diseño de un RPAS o su autorización de operación, por lo cual el 25 de julio de 2017 publicaron la cuarta revisión a la Circular Obligatoria que establece los requerimientos para operar un RPAS en el espacio aéreo mexicano (DGAC 2017). De igual forma, establece los requisitos para obtener la autorización de operación y requisitos de registro del RPAS.

Esta Circular Obligatoria, se encuentra basada en lo establecido por la OACI en su anexo 8, que tiene por título “Aeronavegabilidad”, la autoridad de aviación civil debe aplicar estándares necesarios con el fin de prevenir accidentes y proteger a la tripulación, pasajeros y terceras personas. En su anexo 2 “Reglamento del Aire”, establece que “Ninguna aeronave podrá

conducirse negligente o temerariamente, poniendo en peligro la vida o propiedad ajena” (DGAC 2017). La Circular Obligatoria establece los requerimientos y las limitaciones generales para todas las categorías y tipos de usos de RPAS (DGAC 2017), algunos de ellos son:

- a) Ningún piloto del RPAS debe dejar caer cualquier objeto o material que cause daño a cualquier persona o propiedad.
- b) El piloto del RPAS no debe operar la aeronave si el vuelo no puede hacerse de manera segura.
- c) El piloto del RPAS no debe operar la aeronave en zonas prohibidas, restringidas o peligrosas.
- d) Los RPAS no deben utilizarse para transportar mercancías peligrosas, sustancias prohibidas por la ley, ni emplear armas o explosivos.
- e) El piloto del RPAS debe operar la aeronave a línea de vista, por lo cual debe ser capaz de ver la aeronave a distancia durante todo el vuelo.
- f) El piloto del RPAS no debe operar la aeronave en lugares abiertos o cerrados con presencia de más de 12 personas reunidas.
- g) El piloto del RPAS no debe operar la aeronave de manera negligente o temeraria que ponga en peligro la vida o la propiedad de terceros.

III. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 03/10/18.



Parámetros de procesamiento

Generales	Cámaras	175
	Cámaras orientadas	175
	Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
	Ángulo de rotación	Gauche, cabeça, albedo
Nube de puntos	Puntos	103,289 de 111,459
	MED error de reproyección	6.172323 (1.83011 pix)
	Error de reproyección máximo	0.522788 (2.26274 pix)
	Tamaño promedio de puntos característicos	11.7437 pix
	Supervisión efectiva	2.86287
Parámetros de orientación	Posición	Alta
	Pre-selección genérica	SI
	Pre-selección de referencia	SI
	Puntos claves por foto	60,000
	Puntos de enlace por foto	6,000
	Ajuste del modelo de cámara	SI
	Tiempo búsqueda de puntos homólogos	12 minutos 52 segundos
	Tiempo de orientación	50 segundos
Nube de puntos densa	Puntos	42,551,571
Parámetros de reconstrucción	Calidad	Alta
	Filtrado de profundidad	Moderado
	Tiempo de generación de mapas de profundidad	1 hora 6 minutos
	Tiempo de generación de nube de puntos densa	8 minutos 37 segundos
Modelo	Caras	8,435,389
	Vértices	4,224,346
	Texturas	4,098 x 4,096, uint8
Parámetros de reconstrucción	Tipo de superficie	Superfície / terreno
	Detalle fuente	Densidad
	Interpolación	Habilitada
	Calidad	Alta
	Filtrado de profundidad	Moderado
	Número de caras	8,503,314
	Duración del procesamiento	4 minutos 36 segundos
Parámetros de texturizado	Modo de muestreo	Ortogonal
	Modo de mezcla	Mosaico
	Tamaño de textura	4,096 x 4,096
	Realizar el relleno de agujeros	SI
	Enable stitching filter	SI
	Tiempo de mapeo en UV	2 minutos 32 segundos
	Tiempo de mezcla	13 minutos 51 segundos
Ortomosaico	Tamaño	56,118 x 16,307
	Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
	Caracteres	3, uint8
Parámetros de reconstrucción	Modo de mezcla	Mosaico
	Superficie	Nada
	Realizar el relleno de agujeros	SI

IV. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 02/12/18

Transectos 02/12/18

Conteo de nidos en transectos
08 diciembre 2018



Página 2

Datos del levantamiento

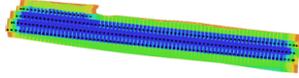


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 238 Posiciones de cámara: 238
 Altitud media de vuelo: 65.2 m Puntos de enlace: 321,806
 Resolución en terreno: 1.99 cm/pix Proyecciones: 1,444,345
 Superficie cubierta: 0.136 km² Error de reproyección: 0.904 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Calibración de cámara

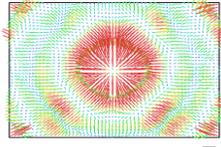


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)
238 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras

Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
B1	-6.88502								
B2	-7.41121								
B4	-1.2129								
F	2099.82	0.39	1.00	-0.09	-0.08	-0.76	0.80	-0.83	-0.03
Cx	-22.4703	0.12	1.00	0.03	0.11	-0.06	0.05	-0.05	-0.04
Cy	-1.61895	0.12		1.00	0.04	-0.07	0.07	0.03	-0.07
K1	0.400218	0.00011			1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2	-0.899778	0.00029				1.00	-0.99	0.02	0.02
K3	1.88667	0.00034					1.00	-0.02	-0.02
P1	0.00042428	3e-06						1.00	-0.07
P2	-0.000493484	1.5e-06							1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Página 3

Posiciones de cámaras



Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
1.58451	1.02007	18.5529	1.58447	18.6484

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Página 4

Modelo digital de elevaciones



Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 3.99 cm/pix
Densidad de puntos: 629 puntos/m²

Página 5

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	238
Cámaras orientadas	238
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
Ángulo de rotación	Guñada, cabeceo, alabeo
Nube de puntos	
Puntos	321,806 de 338,798
RMS error de reproyección	0.281583 (0.904133 pix)
Error de reproyección máximo	0.988594 (31.2558 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.47096 pix
Superposición efectiva	4.57497
Parámetros de orientación	
Fixado	Alta
Pre-selección genérica	Si
Pre-selección de referencia	Si
Puntos clave por foto	60,000
Puntos de enlace por foto	6,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Si
Tiempo de ajuste de puntos homólogos	41 minutos 30 segundos
Tiempo de orientación	4 minutos 58 segundos
Parámetros de optimización	
Polinomio	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Compensar rolling-shutter	No
Tiempo de optimización	11 segundos
Nube de puntos densa	
Puntos	88,268,488
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Alta
Filrado de profundidad	Moderado
Tiempo de generación de mapas de profundidad	2 horas 22 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	33 minutos 41 segundos
Modelo	
Canales	17,333,882
Textura	8,675,348
Tamaño	4,096 x 4,096, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Submétrico / terreno
Datos fuente	Densidad
Interpolación	Hublada
Calidad	Alta
Filrado de profundidad	Moderado
Número de canales	17,653,687
Duración del procesamiento	6 minutos 3 segundos
Parámetros de texturizado	
Método de mapeo	Ortofoto
Método de mezcla	Modesto
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el filtro de agujeros	Si
Enable ghosting filter	Si
Tiempo de mapeado en UV	4 minutos 22 segundos
Tiempo de mezcla	25 minutos 5 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	48,021 x 13,754
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
Canales	3, uint8

Página 6

V. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 02/12/18.

Conteo de tortugas 02/12/18

Conteo de tortugas sobre la playa por parte de personal de CONANP
08 diciembre 2018



Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 256
Altitud media de vuelo: 68.3 m
Resolución en terreno: 2.07 cm/pix
Superficie cubierta: 0.15 km²

Posiciones de cámara: 256
Puntos de enlace: 206,133
Proyecciones: 1,695,817
Error de reproyección: 0.932 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Pre-calibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Calibración de cámara

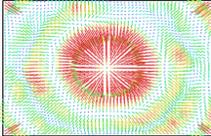


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)
256 imágenes

Tipo Cuadro	Resolución 4000 x 3000	Distancia focal 4.73 mm	Tamaño de píxel 1.57 x 1.57 micras																																																																																																				
Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38	B39	B40	B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48	B49	B50	B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B59	B60	B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68	B69	B70	B71	B72	B73	B74	B75	B76	B77	B78	B79	B80	B81	B82	B83	B84	B85	B86	B87	B88	B89	B90	B91	B92	B93	B94	B95	B96	B97	B98	B99	B100

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Página 3

Modelo digital de elevaciones

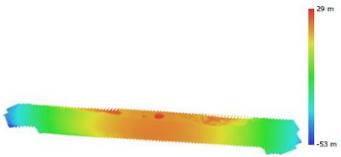


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.14 cm/pix
Densidad de puntos: 583 puntos/m²

Página 5

Datos del levantamiento

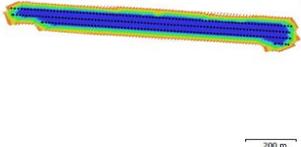


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 256
Altitud media de vuelo: 68.3 m
Resolución en terreno: 2.07 cm/pix
Superficie cubierta: 0.15 km²

Posiciones de cámara: 256
Puntos de enlace: 206,133
Proyecciones: 1,695,817
Error de reproyección: 0.932 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Pre-calibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Posiciones de cámaras



Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras que el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
0.991689	0.672461	15.8068	1.19819	15.8522

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Página 4

Parámetros de procesamiento

Generales		
Cámaras	256	
Cámaras orientadas	256	WGS 84 (EPSG=4326)
Sistema de coordenadas		Gauß-Krüger, alemán
Ángulo de rotación		
Nube de puntos		
Puntos	206,133 de 224,203	
RMS error de reproyección	0.423988 (0.932227 pix)	
Error de reproyección máximo	1.2721 (2.9718 pix)	
Tamaño promedio de puntos característicos	2.3193 pix	
Superposición efectiva	8.23466	
Parámetros de orientación		
Preselección	Alta	
Pre-selección geométrica	SI	
Preselección de referencia	SI	
Puntos claves por foto	60,000	
Puntos de enlace por foto	6,000	
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	SI	
Tiempo de generación de puntos homólogos	52 minutos 43 segundos	
Tiempo de orientación	9 minutos 8 segundos	
Nube de puntos densa		
Puntos	92,379,390	
Parámetros de reconstrucción		
Calidad	Alta	
Filtro de profundidad	Modulado	
Tiempo de generación de mapas de profundidad	4 horas 35 minutos	
Tiempo de generación de nube de puntos densa	23 minutos 33 segundos	
Modo		
Caras	18,087,503	
Vértices	9,061,136	
Texturas	4,096 x 4,096, uint8	
Parámetros de reconstrucción		
Tipo de superficie	Superficies / terreno	
Datos fuente	Densas	
Inserción	Modulada	
Calidad	Alta	
Filtro de profundidad	Modulado	
Número de caras	18,475,878	
Duración del procesamiento	6 minutos 55 segundos	
Parámetros de texturizado		
Modo de mapeo	Ortofoto	
Modo de muestreo	Modo	
Tamaño de textura	4,096 x 4,096	
Realizar el relleno de agujeros	SI	
Enable ghosting filter	SI	
Tiempo de mapeo en UV	4 minutos 5 segundos	
Tiempo de mezcla	26 minutos 5 segundos	
Ortomosaico		
Tamaño	56,232 x 11,461	
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG=4326)	
Caras	3, 4x88	
Parámetros de reconstrucción		
Modo de mezcla	Mosaico	
Superficie	Modo	
Realizar el relleno de agujeros	SI	

Página 6

VI. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 03/12/18.

Conteo de tortugas

Se realizó un conteo de tortugas sobre la playa, por parte del personal del campamento tortuguero de CONANP Escobilla
08 diciembre 2018



Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 246
Altitud media de vuelo: 68.3 m
Resolución en terreno: 2.09 cm/pix
Superficie cubierta: 0.228 km²

Posiciones de cámara: 246
Puntos de enlace: 362,719
Proyecciones: 1,144,121
Error de reproyección: 1.15 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Pre-calibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Calibración de cámara

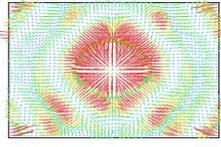


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)
246 imágenes

Tipo Cuadro

Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras

Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	K4	P1	P2	
F	3004.63									
Cx	-13.4565	0.2	1.00	0.07	0.04	0.07	-0.12	-0.13	-0.13	
Cy	-4.8234	0.22	1.00	0.05	0.03	0.02	0.10	0.05	-0.08	
K1	-1.46681	0.32		1.00	0.03	0.01	-0.01	0.01	-0.01	
K2	0.0969436	0.00016			1.00	-0.01	0.09	-0.06	0.11	
K3	-0.56618	0.00091				1.00	-0.99	0.96	-0.01	
K4	1.20647	0.00081					1.00	-0.99	-0.01	
P1	-0.905294	0.0023						1.00	0.02	
P2	0.000294398	4.2e-06							1.00	
P3	-0.000139742	6.3e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Página 3

Modelo digital de elevaciones

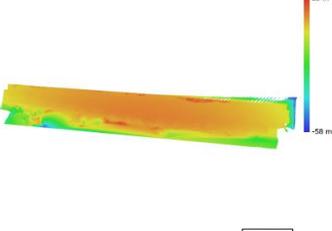


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.18 cm/pix
Densidad de puntos: 572 puntos/m²

Página 5

Datos del levantamiento

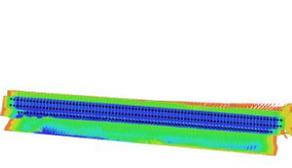


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 246
Altitud media de vuelo: 68.3 m
Resolución en terreno: 2.09 cm/pix
Superficie cubierta: 0.228 km²

Posiciones de cámara: 246
Puntos de enlace: 362,719
Proyecciones: 1,144,121
Error de reproyección: 1.15 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Pre-calibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Posiciones de cámaras

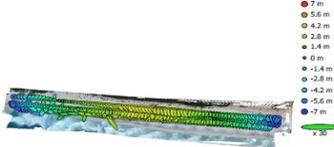


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
0.405673	0.60894	2.80252	0.722361	2.89663

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Página 4

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	246
Cámaras orientadas	246
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
Ángulo de rotación	Guafía, cobaco, abaco
Nube de puntos	
Puntos	362,719 de 385,243
RMS error de reproyección	0.223485 (1.14785 pix)
Error de reproyección máximo	0.704665 (3.81327 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.91637 pix
Superficie efectiva	3.22432
Parámetros de orientación	
Procesado	Aba
Pre-selección genérica	SI
Pre-selección de referencia	SI
Puntos claves por foto	60,000
Puntos de enlace por foto	6,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	SI
Tiempo liberando de puntos homologos	25 minutos 19 segundos
Tiempo de orientación	5 minutos 33 segundos
Nube de puntos densa	
Puntos	95,445,689
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Aba
Filtro de profundidad	Moderno
Tiempo de generación de mapas de profundidad	1 hora 59 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	9 horas 59 minutos
Modo	
Caras	6,363,504
Vértices	3,140,224
Terceros	4,096 x 4,096, unit8
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Equiparar / sistema
Datos fuente	Densa
Inmovilización	Inaludible
Calidad	Aba
Filtro de profundidad	Moderno
Numero de caras	6,363,045
Duración del procesamiento	4 minutos 38 segundos
Parámetros de texturizado	
Modo de mapeo	Ortofoto
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar el relleno de agujeros	SI
Enable ghosting filter	SI
Tiempo de mapeo en UV	1 minuto 35 segundos
Tiempo de mezcla	16 minutos 53 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	55,750 x 14,429
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG:4326)
Caras	3, unit8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Nada
Realizar el relleno de agujeros	SI

Página 6

VII. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 30/12/18.

Conteo de tortuga golfina 30/12/18

Conteo de tortugas sobre la playa por parte de personal de CONANP.
03 enero 2019



Página 2

Datos del levantamiento

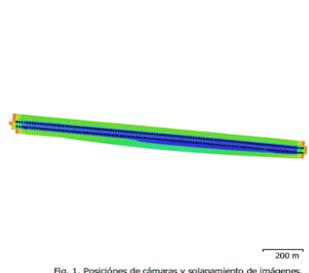


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 223 Posiciones de cámara: 223
 Altitud media de vuelo: 66.9 m Puntos de enlace: 332,237
 Resolución en terreno: 2.06 cm/pix Proyecciones: 1,345,225
 Superficie cubierta: 0.176 km² Error de reproyección: 0.866 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Calibración de cámara

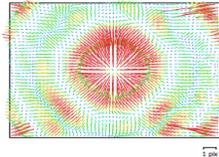


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)
223 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras

Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	K4	K5	K6	P1	P2	
F	3094.63											
Cx	-32.4876	0.15	1.00	0.11	-0.02	-0.05	-0.09	0.17	-0.22	0.26	0.07	-0.61
Cy	2.3571	0.14	1.00	0.04	0.03	-0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
K1	-4.32189	0.073		1.00	0.08	0.03	-0.07	0.09	-0.13	0.09	0.01	
K2	4.81096	0.078			1.00	0.01	-0.05	0.01	-0.01	-0.01	0.04	
K3	0.137873	0.00014				1.00	-0.07	0.05	-0.03	0.06	0.26	
K4	-0.764923	0.0007					1.00	-0.09	0.06	-0.06	0.07	
K5	1.73159	0.0005						1.00	-0.09	0.01	-0.09	
K6	-1.36881	0.0015							1.00	-0.01	0.11	
P1	0.00215099	3.3e-05								1.00	-0.08	
P2	-0.00238856	5e-05									1.00	

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Página 3

Posiciones de cámaras

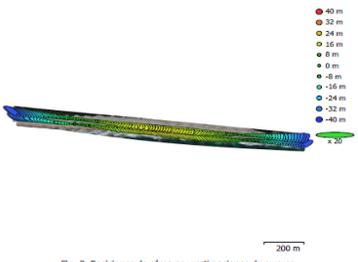


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras que el tamaño y forma de elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
1.05816	0.768459	16.9224	1.30776	16.9729

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Página 4

Modelo digital de elevaciones

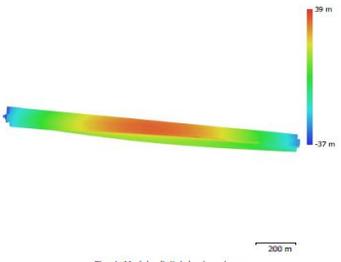


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.12 cm/pix
 Densidad de puntos: 590 puntos/m²

Página 5

Parámetros de procesamiento

Generales

- Cámaras: 223
- Sistema de coordenadas: WGS 84 (EPSG:-4326)
- Ángulo de rotación: Guirra, cabecero, abase

Nube de puntos

- Puntos: 332,237 de 343,150
- RMS error de reproyección: 0.294708 (0.866087 pix)
- Error de reproyección máximo: 0.385426 (1.18475 pix)
- Tamaño promedio de puntos característicos: 3.26318 pix
- Superficie efectiva: 4.00245

Parámetros de orientación

- Precisión: Alta
- Preselección genérica: Sí
- Preselección de referencia: Sí
- Puntos clave por foto: 60,000
- Puntos de enlace por foto: 6,000
- Adaptativo ajuste del modelo de cámara: Sí
- Tiempo de carga de puntos homólogos: 20 minutos 5 segundos
- Tiempo de orientación: 6 minutos 58 segundos

Nube de puntos densa

- Puntos: 71,697,291

Parámetros de reconstrucción

- Calidad: Alta
- Filtrado de profundidad: No
- Tiempo de generación de mapas de profundidad: 1 hora 52 minutos
- Tiempo de generación de nube de puntos densa: 11 minutos 2 segundos

Modelo

- Color: 4,038,239
- Lineas: 7,023,960
- Vértices: 4,096 x 4,096, units

Parámetros de reconstrucción

- Tipo de superficie: Densa
- Datos fuente: Habilitada
- Interpolación: Alta
- Filtrado de profundidad: No
- Numero de caras: 5 minutos 45 segundos
- Duración del procesamiento: 5 minutos 45 segundos

Parámetros de texturizado

- Modo de mapeo: Ortográfico
- Modo de muestreo: Nearest
- Tamaño de textura: 4,096 x 4,096
- Realizar el relleno de agujeros: Sí
- Enable ghosting filter: Sí
- Tiempo de mapeo en UV: 4 minutos 10 segundos
- Tiempo de mezcla: 20 minutos 43 segundos

Ortomosaico

- Tamaño: 71,790 x 12,896
- Sistema de coordenadas: WGS 84 (EPSG:-4326)
- Caras: 3, units

Parámetros de reconstrucción

- Modo de mezcla: Nearest
- Superficie: Habla
- Realizar el relleno de agujeros: Sí

Página 6

VIII. Reporte final del proceso de construcción del ortomosaico 27/01/19.

Conteo de tortugas 27012019

Se realizó un conteo de tortugas sobre la playa, por parte del personal del campamento tortuguero de CONAMP Escobilla
31 enero 2019



Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 337
Altitud media de vuelo: 67.5 m
Resolución en terreno: 2.06 cm/pix
Superficie cubierta: 0.21 km²

Posiciones de cámara: 337
Puntos de enlace: 383,832
Proyecciones: 2,020,489
Error de reproyección: 0.835 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Calibración de cámara

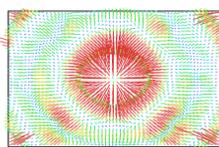


Fig. 2. Gráfico de residuos para FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)
337 imágenes

Tipo Cuadro Resolución 4000 x 3000 Distancia focal 4.73 mm Tamaño de píxel 1.57 x 1.57 micras

Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	K4	K5	K6	P1	P2
P	3004.63										
Cx	-29.4636	0.086	1.00	0.04	-0.03	-0.03	0.03	-0.03	0.04	0.08	0.00
Cy	-2.32105	0.087	1.00	0.04	-0.02	0.00	-0.02	0.02	-0.02	0.00	0.04
K1	-1.005	0.11		1.00	-0.01	0.06	-0.12	0.18	-0.22	0.04	-0.24
K2	-4.9473	0.11			1.00	-0.02	0.03	-0.03	0.03	0.05	0.02
K3	0.126855	0.36-05				1.00	-0.88	0.87	-0.85	0.85	-0.24
K4	-0.880229	0.00048					1.00	-0.95	0.96	-0.02	0.08
K5	1.22394	0.0002						1.00	-0.98	0.93	-0.12
K6	-1.16986	0.00060							1.00	-0.94	0.12
P1	0.00033724	2.3e-06								1.00	-0.00
P2	-0.000202003	2.1e-06									1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Página 3

Modelo digital de elevaciones

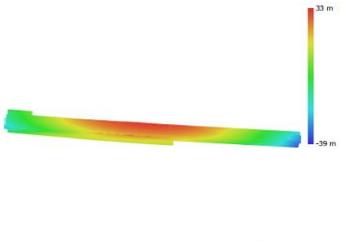


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 4.12 cm/pix
Densidad de puntos: 590 puntos/m²

Página 5

Datos del levantamiento

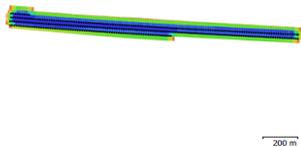


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 337
Altitud media de vuelo: 67.5 m
Resolución en terreno: 2.06 cm/pix
Superficie cubierta: 0.21 km²

Posiciones de cámara: 337
Puntos de enlace: 383,832
Proyecciones: 2,020,489
Error de reproyección: 0.835 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Página 2

Posiciones de cámaras



Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras que el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
1.00734	2.14408	14.1903	2.26893	14.3867

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.
X - Longitud, Y - Latitud, Z - Altitud.

Página 4

Parámetros de procesamiento

Generales

- Cámaras: 337
- Cámaras orientadas: 337
- Sistema de coordenadas: WGS 84 (EPSG:4326)
- Ángulo de rotación: Guirafa, cabecero, albedo

Nube de puntos

- Puntos: 383,832 de 395,796
- RMS error de reproyección: 0.32206 (0.835 pix)
- Error de reproyección máximo: 0.967383 (17.2414 pix)
- Tamaño promedio de puntos característicos: 2.94237 pix
- Superposición efectiva: 5.36352

Parámetros de orientación

- Proyección: Alta
- Pre-selección automática: SI
- Pre-selección de referencia: SI
- Puntos clave por foto: 6,000
- Tiempo liberado de puntos homólogos: 45 minutos 52 segundos

Nube de puntos densa

- Puntos: 101,654,410

Parámetros de reconstrucción

- Calidad: Alta
- Filtro de profundidad: Moderado
- Tiempo de generación de mapas de profundidad: 2 horas 38 minutos
- Tiempo de generación de nube de puntos densa: 34 minutos 45 segundos

Modelo

- Casa: 19,847,730
- Vértices: 9,505,028
- Textura: 5,096 x 5,096, uint8

Parámetros de reconstrucción

- Tipo de superficie: Bajomódulo / terreno
- Datos fuente: Densa
- Interpolación: Interpolada
- Calidad: Alta
- Filtro de profundidad: Moderado
- Número de caras: 20,328,852
- Duración del procesamiento: 7 minutos 45 segundos

Parámetros de texturizado

- Método de mezcla: Ortográfico
- Tamaño de textura: 5,096 x 5,096
- Realizar el relleno de agujeros: SI
- Enlace global filter: SI
- Tiempo de mapeo en UV: 5 minutos 16 segundos
- Tiempo de mezcla: 23 minutos 37 segundos

Software

- Kernel: 1.4.0 build 5650
- Plataforma: Windows 64

Página 6