



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**USO DE DRONES COMO HERRAMIENTA AUXILIAR EN EL ESTUDIO
Y CONSERVACIÓN DE MANATÍES ANTILLANOS EN EL CARIBE
MEXICANO**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

SARAH SOFÍA LANDEO YAURI

TUTORA PRINCIPAL:

**DRA. NATALY CASTELBLANCO MARTÍNEZ
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

COMITÉ TUTOR:

**DR. CARLOS NIÑO TORRES
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**DR. YANN LUCIEN HÉNAUT
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR**

**DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**DR. ALEJANDRO ORTEGA ARGUETA
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR**

ASESOR EXTERNO:

**C a Dr. ERIC RAMOS
CITY UNIVERSITY OF NEW YORK**

CIUDAD DE MÉXICO, ABRIL 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**USO DE DRONES COMO HERRAMIENTA AUXILIAR EN EL ESTUDIO
Y CONSERVACIÓN DE MANATÍES ANTILLANOS EN EL CARIBE
MEXICANO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA:
SARAH SOFÍA LANDEO YAURI**

**TUTORA PRINCIPAL:
DRA. NATALY CASTELBLANCO MARTÍNEZ
CONACYT-UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

COMITÉ TUTOR:

DR. CARLOS NIÑO TORRES
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DR. YANN LUCIEN HÉNAUT
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

DR. LUIS MEDRANO GONZÁLEZ
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DR. ALEJANDRO ORTEGA ARGUETA
EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR

ASESOR EXTERNO:
C a Dr. ERIC RAMOS
CITY UNIVERSITY OF NEW YORK

MÉXICO, PUERTO MORELOS, ABRIL 2019



Agradecimientos

Al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, por darme la oportunidad de seguir desarrollándome profesionalmente. Gracias por brindarme tantas facilidades en el transcurso de esta maestría y por otorgarme el financiamiento necesario para poder asistir a los cursos y congresos que complementaron mi formación. Gracias especiales a Diana Juárez, por ayudarme y siempre responder mis dudas, a pesar de la distancia.

Al CONACYT, por brindarme la beca que me permitió enfocarme en estudiar esta maestría y en desarrollar mi tesis.

Al Programa de Monitoreo de Megafauna Acuática del Caribe, de la Universidad de Quintana Roo y CONACYT (PROMMAC – UQROO/CONACYT), por darme la oportunidad de desarrollar mi tesis en el marco de este gran proyecto, y por brindarme el equipo y el apoyo para llevarla a cabo.

A todas las organizaciones e instituciones que financiaron o apoyaron esta investigación: PADI Foundation, Dolphin Discovery, parques Xcaret y XelHá, cooperativa Caapechén. A la Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (CONANP) y a la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA), quienes nos brindaron permiso para trabajar dentro de las áreas naturales protegidas.

A mi directora de tesis, la Dra. Nataly Castelblanco, a quien admiro profundamente. Gracias por impulsarme a llegar hasta aquí (y a seguir avanzando). Gracias por guiarme una vez más en esta aventura llamada tesis, por enseñarme tanto y por expandir mis horizontes. Mil gracias.

A todos los valiosos miembros de mi comité:

Al Dr. Carlos Niño, por todo el apoyo que me brindó en campo y por sus aportes durante el desarrollo de la tesis. Gracias por estar siempre dispuesto a darme ideas, ayudarme y enseñarme.

Al Dr. Yann Hénaut, por guiarme durante el análisis de datos de comportamiento, por los consejos y aportes. Gracias por brindarme nuevas perspectivas sobre el comportamiento animal y por enseñarme (entre otras cosas) que las arañas tienen personalidad.

Al Dr. Luis Medrano, por tomarse el tiempo de revisar muy a detalle mi manuscrito, y por todas sus correcciones y sugerencias para enriquecerlo y mejorarlo.

Al Dr. Alejandro Ortega, por sus sugerencias y aportes para que este documento resultara más comprensible y correcto.

A Eric Ramos, mi genial asesor externo, quien me enseñó cómo “volar” (el dron). Muchas gracias por confiarme la base de datos para foto-identificación. Gracias por estar siempre dispuesto a compartir información, aconsejarme y enseñarme. Gracias por ser un ejemplo a seguir, desbordando creatividad y pasión por la ciencia.

A todos aquellos que me ayudaron durante las salidas de campo: Natalia, Adrián, Néstor, Rox y Gino. En especial a Natalia, con quien compartimos casi todo el período de campo. Gracias por ser mi copiloto durante tantos despegues y aterrizajes, y por traernos a salvo desde Sian Ka’an, esquivando la mayoría de baches y cangrejos. Al Dr. Jaime Cuevas, por ayudarme a entender los modelos lineales mixtos generalizados. A todas aquellas personas que amablemente respondieron a mis entrevistas y encuestas.

A los integrantes de la UASA en Puerto Morelos, especialmente a la Dra. Briggitta van Tussenbroek, y a todos los miembros del Laboratorio de Botánica Marina, por adoptarme. A mis amigos y compañeros, por el apoyo y la alegría, y porque sin ustedes no hubiese sido lo mismo vivir en ese cuadro de cielo, mar y corales llamado Puerto Morelos. Especiales gracias a Leslie, por abrirme la primera puerta; a Ale, por enseñarme los secretos del *snorkeling*, y a Nuria, por siempre salvarme de la lluvia.

A mis compañeros del laboratorio y estudiantes del PROMMAC, por todo lo que compartimos y por la amistad. Gracias especiales a Diana, por acercarme a la UNAM, por apoyarme tanto y porque algún día me llevará a bucear con tiburones. Gracias a las brillantes integrantes del mana-team: Fabi, Kata, Natalia. Cada una de ustedes me impulsó a ser mejor profesional y mejor persona.

A los habitantes de la casa de Kiki y a todos los que vivieron en ella, por haberme permitido hacerla mi hogar durante la maestría. Gracias especiales a Kiki, por adoptarme como tía. A Fabi, por ser la mejor *roommate* del mundo. A Seb, quien siempre creyó secretamente que esta tesis era muy buena. Y a la mamá de Kiki, por abrirme las puertas de su casa, por su confianza y por su cariño.

A mis amigos peruanos, por todos sus buenos deseos y por darme ánimos. En especial a todo el limno-team, a Miguel, Leti y Maité. Gracias especiales a Daniel, por su apoyo y por ayudarme con varios trámites relacionados a la maestría.

A Adrián, por ser tan buen compañero y amigo. Gracias por animarme a seguir mis sueños.

A mi familia, por ser lo que son. Silvia y Edwin, gracias por toda la complicidad, y por hacerme sentir cerca de casa pese a la distancia.

Gracias mamá, por el amor y por creer en mí.

...

Contenido

RESUMEN GENERAL	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	12
3.1. OBJETIVO GENERAL	12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
4. ANTECEDENTES	12
4.1. ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DEL MANATÍ ANTILLANO	12
4.2. USO DE DRONES EN INVESTIGACIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS	14
5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	15
6. PRUEBAS PRELIMINARES	16
6.1. CÁLCULO DE LA RELACIÓN ALTURA DE VUELO – ANCHO DE IMAGEN PARA DRONES PHANTOM 3	16
6.2. EFECTO DEL DRON SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MANATÍES	17
6.2.1. ANTECEDENTES	17
6.2.2. MÉTODOS	18
6.2.3. RESULTADOS	20
6.2.4. DISCUSIÓN	23
6.3. FACTORES QUE AFECTAN LA DETECCIÓN DE MANATÍES MEDIANTE MÉTODOS AÉREOS ...	25
6.3.1. ANTECEDENTES	25
6.3.2 MÉTODOS	26
6.3.3. RESULTADOS	28
6.3.4. DISCUSIÓN	29
7. USO DE DRONES PARA DETECCIÓN DE MANATÍES EN EL CARIBE MEXICANO	30
7.1 ANTECEDENTES	30
7.1.2. ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN DE MANATÍ ANTILLANO EL CARIBE MEXICANO	30
7.2. MÉTODOS	31
7.2.1. VUELOS EXPLORATORIOS	31
7.2.3 VUELOS DE DETECCIÓN	31
7.3. RESULTADOS	33
7.4. DISCUSIÓN	37

7.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
8. USO DE DRONES PARA REGISTRO DE COMPORTAMIENTO EN ESTUDIO CASO: INTERACCIÓN ENTRE MANATÍES Y EMBARCACIONES TURÍSTICAS EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SIAN KA'AN	40
8.1. ANTECEDENTES	40
8.1.1. INTERACCIONES MANATÍ – EMBARCACIÓN.....	40
8.1.2. RELACIÓN DEL TURISMO CON EL MANATÍ ANTILLANO EN EL CARIBE MEXICANO.....	41
8.1.3. USO DE DRONES EN REGISTRO DE COMPORTAMIENTO.....	42
8.2. MÉTODOS.....	42
8.3. RESULTADOS	43
8.3.1. ENTREVISTAS	43
8.3.2. REGISTRO DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE DRONES.....	45
8.4. DISCUSIÓN.....	47
8.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
9. FOTOIDENTIFICACIÓN MEDIANTE DRONES	50
9.1. ANTECEDENTES	50
9.2. MÉTODOS.....	50
9.3 RESULTADOS	52
9.4. DISCUSIÓN.....	55
9.5. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES.....	57
10. LINEAMIENTOS PARA EL USO DE DRONES LIVIANOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE MANATÍES ANTILLANOS.....	57
10.1 PROTOCOLO DE USO DE DRONES PARA EL ESTUDIO DE MANATÍES EN EL CARIBE.....	57
11. CONSIDERACIONES FINALES	59
12. REFERENCIAS	60
13. ANEXOS	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características generales de dron DJI Phantom 3 Advanced	16
Tabla 2. Locaciones y manatíes mantenidos en cautiverio sobre los que se realizó la prueba de efecto del dron P3A, en Quintana Roo, México.	18
Tabla 3. Experiencia de sobrevuelos previos y conductas relevantes registradas para grupos de manatíes en cautiverio sobre los que se realizó la prueba de efecto del dron.	21
Tabla 4: Frecuencia respiratoria para cada bloque de evaluación de la prueba de efecto del dron sobre manatíes (n=18)	22
Tabla 5: Categorías comportamentales para cada bloque de evaluación de la prueba de efecto del dron sobre manatíes (n=21)	23
Tabla 6. Criterios para categorización de altura, brillo solar y turbidez en imágenes y videos obtenidos mediante dron P3A	26
Tabla 7. Características de los videos tomados en las seis locaciones albergando manatíes en cautiverio	27
Tabla 8. Distribución de respuestas según grado de detección para encuestados con experiencia y sin experiencia	28
Tabla 9. Resumen de información obtenida en sobrevuelos de detección de manatíes en vida libre ...	33
Tabla 10. Características ambientales registradas durante sobrevuelos de detección de manatíes en las áreas de APFF Yum Balam, Santuario del Manatí y RB Sian Ka'an.....	37
Tabla 11. Adaptación de probabilidades de detección de dugones de Pollock et al (2006) para estado óptimo de mar y diferentes condiciones de visibilidad respecto a los niveles de turbidez propuestos en este estudio	39
Tabla 12. Cálculo de abundancias con base en probabilidades de detección de Pollock et al (2006). ...	39
Tabla 13. Resumen de información de videos de recopilados con el fin de registrar interacciones manatí- embarcación en la RB Sian Ka'an.....	45
Tabla 14. Contraste de variables entre avistamiento con bote estacionario y bote en movimiento.....	47
Tabla 15. Individuos foto-identificados (Catálogo) para monitoreo a largo plazo	52
Tabla 16. Factores que afectan calidad de imagen con fines de foto-identificación.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre la altura de vuelo del dron P3A y el ancho de banda obtenido, tomando como referencia imágenes de video y fotografías.	17
Figura 2: Locaciones con manatíes en cautiverio evaluadas.	19
Figura 3. Frecuencia respiratoria promedio (18 individuos) y error estándar: antes(control), durante y después de sobrevuelo con dron.	22
Figura 4: Porcentaje promedio (21 individuos) de tiempo invertido en cada categoría de comportamiento: antes (control), durante y después de sobrevuelo con dron P3A.	23
Figura 5. Porcentaje de encuestados según área de experiencia.....	28
Figura 6. Ubicación de las áreas donde se realizaron los sobrevuelos de detección.	32
Figura 7. Vuelos de detección realizados en APFF Yum Balam.....	34
Figura 8. Vuelos de detección realizados en Santuario del Manatí.....	34
Figura 9. Vuelos de detección realizados en la RB Sian Ka’an.....	35
Figura 10. Ejemplos de niveles de reflejo solar registrados durante sobrevuelos de detección.....	36
Figura 11. Ejemplos de niveles de turbidez registrados durante sobrevuelos de detección.....	36
Figura 12. Respuestas de operadores turísticos entrevistados en la RB Sian Ka’an.....	44
Figura 13. A la izquierda, imagen extraída de video 4 (botes en movimiento en Boca Paila), a la derecha, imagen extraída de video 7 (bote fijo en Caapechén).	46
Figura 14. Trayectoria de desplazamiento de embarcaciones (N=2) y manatíes (N=3) durante interacción no estacionaria registrada en video 4 (minuto 7:00 – 8:00), ojo de agua (N 20°0’27.72”, O 87°29’26.879”), Laguna Bocapaila.	46
Figura 15. Estados de comportamiento exhibidos durante interacción bote – manatí , en avistamiento desde bote en movimiento (video 4).	47
Figura 16. Algunos ejemplos de individuos foto-identificados a través del registro de videos mediante drones para su seguimiento a largo plazo. Las flechas amarillas señalan las marcas que caracterizan a los manatíes.	53
Figura 17 Curva de acumulación de individuos foto identificables a largo plazo.	53
Figura 18. Algunos ejemplos de individuos foto-identificados a través del registro de videos mediante drones para su seguimiento a corto plazo.....	54
Figura 19. Ejemplo de ficha de individuo foto identificado para el catálogo.....	54
Figura 20. Ejemplo de pérdida de calidad de imagen debido a: turbidez del agua (a), alteración de superficie del agua (b), reflexión de luz en el agua (c). Todas las imágenes corresponden al mismo individuo.....	55
Figura 21. Protocolo simplificado para uso de drones en estudio y monitoreo de manatíes antillanos en el Caribe	59

RESUMEN GENERAL

Existen diversos riesgos que amenazan las poblaciones de manatíes antillanos (*Trichechus manatus manatus*), por lo que para su conservación es importante contar con planes de manejo basados en información actualizada y continua. Sin embargo, debido a los costos implicados en métodos tradicionales de censo y monitoreo, la obtención de esta información es intermitente. Es necesario explorar herramientas de menor costo que faciliten el estudio de manatíes y su monitoreo. Este estudio tiene como finalidad demostrar la aplicabilidad de los drones livianos como herramientas auxiliares para detectar, fotoidentificar y registrar el comportamiento de manatíes antillanos en los principales ambientes que ocupan en el Caribe Mexicano. Para esto se usó un dron DJI modelo Phantom 3 Advanced. Se incluyeron pruebas preliminares para obtener información que optimice el uso de drones para el estudio de manatíes: se calculó la relación entre la altura de vuelo del dron y medidas de la imagen obtenida, se realizaron pruebas en cautiverio para determinar si el dron tiene un efecto sobre los manatíes, y se usó información colectada durante las pruebas en cautiverio para explorar los factores que condicionan la detección de manatíes. Se encontró que el dron puede tener un efecto sobre el comportamiento de los manatíes, quienes aumentan su nivel de actividad y disminuyen su tasa respiratoria durante los sobrevuelos. Asimismo, se determinó que el factor ambiental con mayor efecto sobre la detección de manatíes es la turbidez. Para evaluar la utilidad de los drones en la detección de manatíes en vida libre se realizaron 24 sobrevuelos en tres áreas naturales protegidas: el Área de Protección de Fauna y Flora Yum Balam (APFFYB, norte), la Reserva de Biósfera de Sian Ka'an (RBSK, centro) y el Santuario del Manatí (SM, sur). Los vuelos se efectuaron a una altura de 100 m (154 m de ancho de banda), perpendiculares a la costa y en trayecto rectangular con ≥ 1 km en su lado más largo, cubriendo un área de 9.03 km², y obteniendo 253 minutos de video. Fueron registrados dos individuos (madre/cría) en el SM, dos individuos en la RBSK y ningún individuo en la APFFYB. Considerando que en las Lagunas Bocapaila y Caapechén (RBSK) se realizan recorridos turísticos de avistamiento de manatíes, se usó el dron a alturas entre 20 y 100 m para registrar las interacciones entre los botes turísticos y manatíes. Se registraron dos tipos de método de avistamiento: con bote estacionario y con bote en movimiento (velocidad calculada de 3.6 km/hr). La distancia mínima bote-animal fue de 0 m para la embarcación en movimiento y de 8.38 m para el bote estacionario, por lo que este método conllevaría menos riesgo para los animales. Finalmente, mediante la identificación de imágenes de manatíes con marcas o cicatrices distinguibles se obtuvo un catálogo de 15 animales fotoidentificados partiendo de 111 videos tomados mediante drones modelo Phantom entre los años 2015 a 2017 principalmente en Atolon de Turneffe y Cayo Saint George (Belice). A partir de los resultados obtenidos se integró una propuesta de protocolo para el uso de drones en el estudio de manatíes en ambientes del Caribe. Se espera que los resultados de esta investigación sirvan como base para diseñar planes de monitoreo empleando drones, que por su relativo bajo costo y facilidad de operación permitan la evaluación continua de las zonas de importancia para esta especie en el Caribe Mexicano.

ABSTRACT

The Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) populations face several threats. Management plans for the species needs to be improved, based on up-to-date and continuous information. However, due to the costs involved in traditional census and monitoring methods, the acquisition of information is not continuous. It is necessary to explore alternative and affordable tools to facilitate the study and monitoring of manatee populations. The aim of this study was to test the applicability of small drones as auxiliary tools to detect, photo-identify and record the behavior of Antillean manatees in the Mexican Caribbean. For this, we used a drone DJI Phantom 3 Advanced. Preliminary tests were performed to optimize the use of drones in our study: tests were conducted on captive manatees to study the effect of the drone on manatee behavior, and to evaluate the factors affecting manatee detection. Tests in captivity indicated that the drone can affect the manatee's behavior, and that turbidity is the environmental factor with greatest effect on detection. To test the effectiveness of small drones for detection of Antillean manatees, we performed 24 flights in three natural protected areas (ANP) within the Mexican Caribbean: the Yum Balam Protected Area for Wildlife and Flora (YBPAWF, north), the Sian Ka'an Biosphere Reserve (SKBR, center) and the Manatee Sanctuary (MS, south). Each flight was conducted at 100 m of altitude (image covers 154 m of width), perpendicular to the coast and in a rectangular path with ≥ 1 km on its longest side, recording a video during the flight. We covered 9.03 km² and obtained 253 minutes of video. Two individuals (mother and calf) were recorded in the MS, two individuals in the SKBR and no individual in the YBPAWF. We tested the applicability of small drones to record the behavior of free ranging manatees, using a study case. We used videos obtained with the drone flying at 20-100 m to describe interactions between manatees and boats during manatee watching touristic activities. Two types of manatee watching were recorded: from a stationary boat and from a boat in motion (speed = 3.6 km / hr). The minimum distance manatee-boat was 0 m for the boat in motion case, and 8.38 m for the stationary boat, suggesting that the last method entails less risk for the animals. Finally, manatees recorded in 111 videos obtained by drones in Turneffe Atoll and Saint George's Caye (Belice) between 2015 -2017 were analyzed in order to build a photo-ID catalog, including 15 identified individuals. The methods used for detection, behavioral recordings and photoidentification were included together with the information obtained during the preliminary tests, resulting in a protocol intended for using small drones to study manatees in Caribbean environments. We aim to use the obtained results as a baseline to establish and improve manatee monitoring plans using small drones, as they represent an easy to operate, low-cost tool. These features would also allow a steady survey of relevant areas for the Antillean manatee in the Mexican Caribbean.

1. INTRODUCCIÓN

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) pertenece al Orden Sirenia, el cual tiene sólo cuatro especies vivientes. La distribución del manatí antillano abarca desde el Golfo de México, incluyendo las Antillas y Centroamérica hasta la costa atlántica de Brasil (Marsh y Lefebvre 1994). Debido a la tendencia decreciente de su población, se encuentra listado en peligro de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni 2008), por lo que son necesarias medidas para su conservación en los países en que se encuentra presente.

México presenta una población importante de manatíes antillanos, distribuidos originalmente desde las costas del Golfo de México en el estado de Tamaulipas hasta el estado de Quintana Roo en el Mar Caribe (Colmenero-Rolón 1991). Sin embargo, la creciente actividad humana podría haber reducido significativamente la porción norte de su distribución (Serrano et al. 2007, Serrano et al. 2017). Si bien no se tiene una estimación del tamaño poblacional de los manatíes en el país, se calculan de 200 a 250 individuos para la costa Caribe (Morales-Vela y Padilla-Saldívar 2009a).

El Caribe Mexicano es una de las zonas más turísticas del país, observándose una tendencia creciente en el número de visitantes por año. Sólo en el 2015, el estado de Quintana Roo tuvo una afluencia de más de 10 millones y medio de turistas (SEDETUR 2016). Si bien esto representa crecimiento económico para la región, también conlleva impactos en un amplio rango de aspectos ambientales (Padilla 2015). Por ejemplo, la contaminación, el incremento de tráfico marítimo y los daños en los ecosistemas marinos tienen serias implicaciones para la conservación de la biodiversidad. Además, en el caso de los manatíes antillanos, el creciente turismo parece haber afectado su distribución, debido a la ocupación y alteración de espacios (como caletas y cenotes) típicamente frecuentados por manatíes (Colmenero-Rolón 1991, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997, Díaz Ortiz et al. 2014).

A pesar de que el manatí antillano se encuentra protegido por legislación nacional (SEMARNAT 2010) y es reconocido como el mamífero marino más común en la región del Mar Caribe (Niño-Torres et al. 2015), no existe un monitoreo permanente para la población de manatíes. Ciertamente se han realizado numerosos estudios en la región (ej. Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997, Áxis-Arroyo et al. 1998, Morales-Vela et al. 2000, Morales-Vela et al. 2002, Morales-Vela et al. 2003, Olivera-Gómez y Mellink 2005, Castelblanco-Martínez et al. 2009, Castelblanco-Martínez et al. 2013), pero debido a los altos costos asociados a los censos aéreos, en México y la mayor parte de los países centroamericanos y del Caribe, estos censos tienden a ser realizados esporádicamente y sin réplicas (Olivera-Gómez y Mellink 2002). Como consecuencia, no es posible mantener un registro actualizado y constante de los datos demográficos y ecológicos que reflejan el estado de la población.

Una alternativa novedosa para el estudio de mamíferos marinos que está siendo explorada durante los últimos años, es el uso de aeronaves no tripuladas, comúnmente llamadas drones. En comparación a métodos tradicionales de conteo, como avionetas o helicópteros, los drones son significativamente más baratos y seguros para el operador (Jones et al. 2006). Además, representan una plataforma de bajo impacto para la observación en la naturaleza, con la ventaja de producir registros precisos de los parámetros de vuelo (Hodgson et al. 2010). Una ventaja adicional es que la información puede ser revisada por más de un observador reduciendo los errores en el conteo y detección (Hodgson et al. 2013). En el presente proyecto se propone el uso de drones livianos (< 5 kg, según Smith et al. 2016) como herramienta complementaria en el monitoreo de manatíes en el Caribe Mexicano, de modo que se obtenga la información ecológica necesaria para el fortalecimiento de planes adecuados de manejo en el estado Quintana Roo.

A continuación, se explica la estructura del documento. Las secciones 2-4 corresponden a justificación, objetivos y antecedentes. En la sección 5 se describe el equipo usado en todas las etapas de este estudio. En la sección 6 se relatan las pruebas preliminares llevadas a cabo con el fin de obtener información necesaria para el desarrollo de un protocolo de uso de drones para el estudio y monitoreo de los manatíes. Estas pruebas incluyen cálculos para relacionar la altura de vuelo del dron y medidas cubiertas por la imagen obtenida (sección 6.1), evaluación del efecto del dron sobre el comportamiento de los manatíes (sección 6.2) y la evaluación de factores que afectan la detección de manatíes mediante drones (sección 6.3). Las secciones 7, 8 y 9 evalúan algunas de las potenciales aplicaciones del dron para atender necesidades de conservación, monitoreo e investigación de la especie, a seguir: detección de manatíes en vida libre (sección 7), monitoreo de las actividades turísticas de avistamiento de manatí (sección 8), y foto-identificación de manatíes (sección 9). Finalmente, en la sección 10 se incorporan los resultados y observaciones de todas las secciones en un protocolo general para el uso de drones livianos, a fin de que sea aplicable para el registro de información de manatíes antillanos en el Caribe Mexicano.

2. JUSTIFICACIÓN

Debido al rápido crecimiento del turismo en el Caribe Mexicano, así como los riesgos que esto representa para el manatí antillano y su hábitat, es necesario contar con planes de manejo de la especie basados en un registro de información actualizada y continua. Sin embargo, debido a los costos implicados en métodos tradicionales de censo, el monitoreo de la población de manatíes antillanos residente en el Caribe Mexicano no ha sido constante en el largo plazo. Por lo mismo es necesario explorar herramientas de bajo costo relativo que faciliten el registro de esta información. Considerando las ventajas de los drones livianos como herramientas de alta precisión, de fácil operación, poco invasivas para los objetos de estudio y que no ponen en riesgo la seguridad de los observadores, se propone su utilización para el estudio y monitoreo de manatíes antillanos en el Caribe Mexicano.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL: Evaluar la aplicabilidad de drones livianos en el estudio y monitoreo de manatíes antillanos en el Mar Caribe Mexicano

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Evaluar la aplicabilidad de drones livianos en la detección de manatíes en vida silvestre.
2. Evaluar la utilidad de drones livianos para el registro de comportamiento de manatíes en vida silvestre.
3. Proponer y aplicar un protocolo de foto identificación de manatíes a partir de videos obtenidos mediante drones livianos.

4. ANTECEDENTES

4.1. ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DEL MANATÍ ANTILLANO

Los manatíes pertenecen al Orden Sirenia, que abarca a los únicos mamíferos herbívoros enteramente acuáticos, incluyendo tres especies de manatíes y a los dugones (*Dugong dugon*, O'Shea 1994). El manatí de las Indias Occidentales (*Trichechus manatus*), comprende las subespecies *Trichechus manatus manatus* (manatí antillano) y *Trichechus manatus latirostris* (manatí de Florida, Domning y Hayek 1986). *T.manatus* se distribuye desde las costas de Florida en Estados Unidos, incluyendo las grandes Antillas,

este de México, Centroamérica, y hasta el noreste de Brasil, pudiendo ocupar tanto ríos, lagunas, estuarios y ambientes marino costeros (Lefebvre et al. 2001).

Los manatíes consumen una gran variedad de especies vegetales, incluyendo vegetación sumergida y de litoral (Mignucci-Giannoni y Beck 1998, Castelblanco-Martínez et al. 2009). Los adultos llegan a invertir de 6 a 8 horas diarias alimentándose (Hartman 1979), pudiendo consumir alrededor del 7 % de su peso diariamente (Etheridge et al. 1985). Hay que considerar que los manatíes antillanos adultos puede llegar a pesar casi media tonelada y medir alrededor de 3 metros de largo (Morales-Vela y Padilla-Saldívar 2009a). Por otro lado, sus tasas metabólicas son excepcionalmente bajas, alrededor del 15-22% de lo esperado según valores de peso (Irvine 1983). Los intervalos entre respiraciones varían con la edad y nivel de actividad que realizan, pero en promedio un adulto en descanso realiza una inspiración cada 3.8 minutos (Hartman 1979).

El oído es uno de los sentidos principales de los manatíes, teniendo un rango auditivo de 0.25 a 90 kHz, con mayor sensibilidad entre los 8 a 32 kHz y un límite de 8 kHz para detección en presencia de ruido ambiental (Gaspard et al. 2012). El tacto también es un sentido muy desarrollado, pues los manatíes tienen el cuerpo recubierto de pelos especializados llamados vibrisas, las cuales son importantes en la detección de estímulos ambientales, y son capaces de detectar vibraciones hidrodinámicas (Gaspard et al. 2013). En cuanto a vocalizaciones, estas ocurren de una a cuatro veces en periodos de 5 min, en forma de chillidos (*squeaks*) o gorjeos (*chirps*, Miksis-Olds y Tyack 2009) y en un rango de frecuencias entre 2 y 5 kHz (Niezrecki et al. 2003).

Para los manatíes antillanos, que habitan regiones tropicales y subtropicales, la temperatura no es un factor que afecte su distribución, a diferencia de los manatíes de Florida, los cuales realizan migraciones estacionales debido a los cambios de temperatura del agua (Deutsch et al. 2003). Aunque no realizan migraciones estacionales, los manatíes antillanos pueden llegar a desplazarse grandes distancias (240 km, Castelblanco-Martínez et al. 2013). En las áreas marino costeras, los manatíes prefieren generalmente zonas someras (Áxis-Arroyo et al. 1998, Morales-Vela y Padilla-Saldívar 2009b, Castelblanco-Martínez et al. 2015). Entre los factores que condicionan la selección de hábitat son importantes la presencia de fuentes de agua dulce (Olivera-Gómez y Mellink 2005, Castelblanco-Martínez et al. 2013), la disponibilidad de vegetación acuática (Áxis-Arroyo et al. 1998, LaCommare et al. 2008), y la presencia de zonas de refugio, protegidas del oleaje y con escasa corriente (Bacchus et al. 2009).

En cuanto al comportamiento social, Los manatíes son animales esencialmente solitarios, observándose algunas asociaciones temporales en los grupos de apareamiento y asociaciones fuertes únicamente entre hembras y sus crías (Hartman 1979). Aunque se ha sugerido que los manatíes no siguen un patrón de actividades en el día (Hartman 1979), Castelblanco-Martínez et al. (2015) encontraron que para individuos silvestres marcados, las actividades superficiales son más frecuentes durante la noche y primeras horas de la mañana, mientras que las actividades de fondo, como descanso y alimentación, tienen un pico de intensidad alrededor del mediodía. Gomes et al. (2008) también observaron variaciones en la frecuencia de comportamientos entre mañana y tarde para individuos estudiados en cautiverio. Aparentemente, los manatíes dedican la mayor parte de su tiempo en alimentación (6-8 h) y descanso (6-10 h), además de desplazamiento y socialización (Hartman 1979).

4.2.USO DE DRONES EN INVESTIGACIÓN DE MAMÍFEROS MARINOS

El uso de drones, también conocidos por sus siglas en inglés como UAV (*unmanned aerial vehicles*) o RPAS (*remotely piloted aerial system*), se ha incrementado en el estudio de vida silvestre durante la última década (Linchant et al. 2015), constituyendo una herramienta revolucionaria para la investigación aplicada a mamíferos marinos (Fiori et al. 2017). Entre sus ventajas se listan: reducción de errores de detección al obtenerse un registro de información sistemática y permanente (Hodgson et al. 2013), ser seguros para el operador (Jones et al. 2006), ser menos invasivos para los objetos de estudio que los sobrevuelos tripulados (Moreland et al. 2015, Christie et al. 2016), y tener mayor rentabilidad de costos en comparación a sobrevuelos tripulados (Colefax et al. 2017).

Existen dos clases de drones comúnmente usados en investigación de mamíferos marinos: los drones de ala fija y los drones de despegue y aterrizaje vertical (VTOL por sus siglas en inglés), también llamados multicópteros o multirrotors (Smith et al. 2016, Colefax et al. 2017). Los drones de ala fija pueden clasificarse por su tiempo de vuelo como de corta y larga duración (Fiori et al. 2017), aunque generalmente tienen mayor capacidad de permanencia en vuelo (dependiendo del modelo, hasta 24 hr), cubriendo mayores distancias (Linchant et al. 2015). Por otra parte, requieren espacios despejados para despegue (con lanzamiento manual o de catapulta) y aterrizaje (usando sistema de captura o deslizamiento sobre terreno blando, Colefax et al. 2017). En comparación, los drones multicópteros tienen tiempo de vuelo limitado a menos de una hora (Linchant et al. 2015, Colefax et al. 2017), pero mayor maniobrabilidad, facilidad de despegue y aterrizaje vertical en espacios reducidos como pequeñas embarcaciones (Colefax et al. 2017), y generalmente precios menos elevados que los drones de ala fija (Fiori et al. 2017).

Anderson y Gaston (2013) establecieron una clasificación de drones basándose en cuatro tamaños, que incluye: grandes (~ 200 kg a más), medianos (~ 50 kg), pequeños y mini (30 kg – 5 kg), micro y nano (< 5 kg). Las dos últimas clases pueden incluir tanto drones multicópteros como de ala fija, y son referidas como plataformas livianas y de amplio potencial, comparadas con las clases grande y mediana que, por sus altos costos operacionales, son imprácticas para las necesidades de investigación. Los costos de los drones suelen incrementarse en las categorías de mayor tamaño, pudiendo llegar a mayores precios que ciertas aeronaves para vuelo tripulado (Christie et al. 2016). Consecuentemente, la totalidad de estudios realizados en mamíferos marinos hasta ahora emplean drones de clase pequeña o menor. Sobre el término drones livianos, Smith et al. (2016) lo usan para referirse a drones de peso menor a 5 kg.

Varias investigaciones se han centrado en determinar la efectividad de los drones como herramientas que permiten detectar y monitorear diferentes especies, con miras a reemplazar métodos tradicionales de monitoreo como sobrevuelos tripulados (ej. Koski et al. 2009, Hodgson et al. 2010, Hodgson et al. 2013, Hodgson et al. 2017). Aunque los drones tienen limitaciones en la velocidad y distancias cubiertas comparados con las aeronaves tripuladas, pueden cubrir las necesidades de monitoreo intensivo a menor escala y monitoreo de áreas remotas (Colefax et al. 2017).

Por su capacidad para cubrir grandes distancias y mayor tiempo de vuelo, los drones de ala fija se han probado efectivos en la detección y conteo de dugongos (*Dugong dugon*, Hodgson et al. 2013), identificación y conteo de focas listadas (*Histriophoca fasciata*) y focas manchadas (*Phoca largha*, Moreland et al. 2015), detección y conteo de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*, Hodgson et al. 2017) y detección, clasificación etaria y conteo de focas grises (*Halichoerus grypus*) usando imágenes termales (Seymour et al. 2017). Los drones de ala fija también han sido empleados para obtener imágenes de suficiente calidad para ser usadas en fotoidentificación de ballenas boreales (*Balaena*

mysticetus, Koski et al. 2015) y grabación de videos para registros de comportamiento en ballenas jorobadas (Hodgson et al. 2017).

Los drones multirrotor, de alta maniobrabilidad y capacidad para mantener vuelo estacionario, han sido usados para medir la condición corporal de ballenas jorobadas mediante fotogrametría (Christiansen et al. 2016a), en fotogrametría de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*, Durban et al. 2016), fotogrametría de focas leopardo (*Hydrurga leptonyx*, Goebel et al. 2015), fotogrametría e identificación de orcas (*Orcinus orca*, Durban et al. 2015), toma de muestras biológicas en soplo de ballenas azules (Domínguez-Sánchez et al. 2018), registro de comportamiento de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*, Torres et al. 2018) y registro de comportamiento de toninas (*Tursiops truncatus*) y manatíes antillanos (Ramos et al. 2018). En áreas reducidas, los drones multirrotor han probado ser útiles para detección, conteo y clasificación etaria de lobos marinos californianos (*Zalophus californianus*, Adame et al. 2017); detección y conteo de lobos marinos antárticos (*Arctocephalus gazella*, Goebel et al. 2015), y tanto detección como conteo de leones marinos de Steller (*Eumetopias jubatus*, Sweeney et al. 2015).

El registro de información visual desde drones puede darse usando video (ej. Koski et al. 2009, Hodgson et al. 2010; Hodgson et al. 2017) o fotografía (ej. Durban et al. 2015, Moreland et al. 2015, Adame et al. 2017), siendo generalmente empleadas las últimas. La resolución de la imagen obtenida varía en función a la altura de vuelo (ej. Jones et al. 2006, Hodgson et al. 2018) y a la distancia focal de la cámara empleada (Goebel et al. 2015), por lo que los investigadores deben considerar la resolución necesaria para su contexto y optimizar la altura de vuelo en función de las características de la cámara empleada.

Aunque aún son necesarias comparaciones paralelas entre drones y vuelos tripulados para evaluar diferencias en las tasas de detección de ambas plataformas (Koski et al. 2009, Hodgson et al. 2013), existe evidencia de que los drones pueden ser herramientas más precisas que monitoreos desde bote para conteo de lobos marinos californianos (Adame et al. 2017) y que conteos desde tierra para censos de colonias de aves marinas (Hodgson et al. 2018). Por otro lado, al tratarse de una herramienta relativamente reciente que se encuentra en constante desarrollo, son muchas sus aplicaciones potenciales, de allí la necesidad de continuar explorando sus capacidades en el estudio de diferentes ambientes y especies.

5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

En este proyecto se usaron drones comerciales livianos multirrotor modelo DJI Phantom 3 Advanced (P3A) equipados con GPS y cámara de 12.4 MP. A esta última se le colocó una cubierta polarizadora para reducir los niveles de reflejo solar. Las características del equipo se resumen en la Tabla 1. Los drones se pilotearon usando una estación de control remoto, que permite monitorear y registrar parámetros de vuelo como la altitud, distancia, tiempo de vuelo y niveles de batería, usando la aplicación de fábrica (DJIGO). La aplicación se instaló en un iPad mini 4, que se montó sobre la estación de control y permitió observar las imágenes transmitidas durante vuelo. Se usó una memoria microSD SanDisk Ultra de 64 GB clase 10 para grabar fotografías y videos de los vuelos.

Tabla 1. Características generales de dron DJI Phantom 3 Advanced

Peso (incluyendo batería y hélices)	1280 g
Tamaño diagonal (excluyendo hélices)	350 mm
Máxima duración de vuelo	23 min
Frecuencia de control remoto	2400 – 2483 GHz
Distancia máxima de control (sin obstáculos ni interferencias)	5 km según normas FCC* 3.5 km según normas CE**
Sensor de cámara	Sony Exmor R BSI 1/2.3"
Lente de cámara	FOV 94° 20mm (35 mm equivalente) f/2.8, enfoque a ∞
Tamaño máximo de imagen	4000 x 3000 pix
Modos de video	2.7 K, FHD, HD.

*Comisión Federal de Comunicaciones (EU), ** Conformidad Europea

Fuente: sitio web DJI

6. PRUEBAS PRELIMINARES

6.1. CÁLCULO DE LA RELACIÓN ALTURA DE VUELO – ANCHO DE IMAGEN PARA DRONES PHANTOM 3

Debido a la importancia de cuantificar el área cubierta durante los sobrevuelos, se calculó tanto para fotografías como videos, la equivalencia en metros del ancho de las imágenes obtenidas por el dron Phantom 3. Los vuelos de trayectoria recta pueden asumirse como transectos, y el ancho de la imagen que se cubre en el trayecto, como el ancho de banda del transecto. El área cubierta en sobrevuelo es equivalente al ancho de la imagen por la distancia recorrida. Para calcular el ancho de banda se usaron dos métodos: 1) empleando un objeto de tamaño conocido para establecer una escala y extrapolar el ancho de imagen, y 2) usando los datos de la longitud focal y el tamaño del sensor de la cámara del dron para hacer los cálculos. El primer método fue usado tanto para fotografías como para videos, elevando el dron sobre el objeto de tamaño conocido tomando fotos (4000 x 3000 pixeles) y videos (2704 x 1520 pixeles) a diferentes alturas. Se empleó el programa de uso libre ImageJ 1.51k (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA) para los cálculos, y en el caso de los videos, se extrajeron imágenes en alta calidad (3840 x 2160 pix) de éstos para poder realizar las mediciones. El segundo método se usó sólo para fotografías, empleando los datos de longitud focal (3.61 mm) y ancho de sensor (6.317 mm) de la cámara (Sony EXMOR 1/2.3") del dron tomados de Zietara (2017). Se usó la calculadora de GSD (*Ground sampling distance*) disponible en la web pix4d.com para determinar el ancho de banda. Las relaciones obtenidas altura vs ancho de banda pueden observarse en la figura 1 y la tabla de datos en el anexo 13.1.

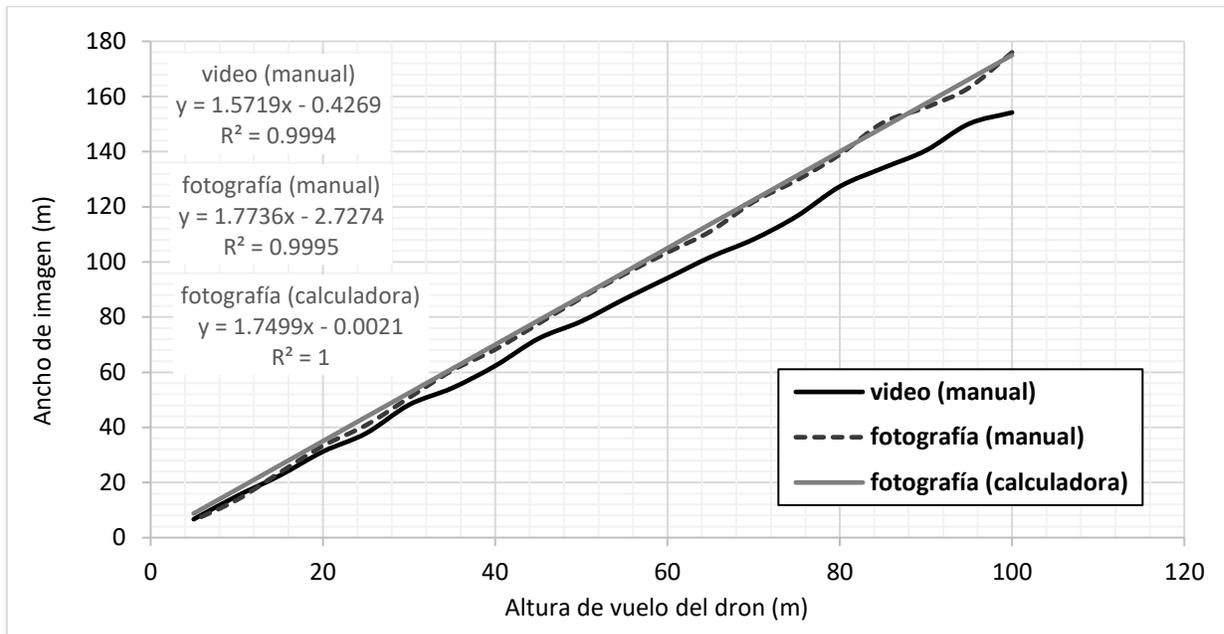


Figura 1. Relación entre la altura de vuelo del dron P3A y el ancho de banda obtenido, tomando como referencia imágenes de video y fotografías.

Reemplazando la altura de vuelo en las ecuaciones de recta, es posible determinar el ancho de la imagen obtenida. Del mismo modo, el tamaño de píxel de las imágenes según altura de vuelo (anexo 13.1) puede usarse para calcular el tamaño de los objetos registrados en video.

6.2. EFECTO DEL DRON SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MANATÍES

Se realizó esta prueba con el fin de obtener información que nos permita optimizar un protocolo para el estudio y monitoreo de manatíes en el Caribe Mexicano. Se espera que los resultados de esta prueba, aunque realizada en cautiverio, nos ayuden a entender mejor los posibles efectos del dron sobre los manatíes antillanos en vida libre.

6.2.1. ANTECEDENTES

Existe poca información sobre el impacto de los drones sobre la conducta de los mamíferos marinos. El efecto parece ser menor comparado con métodos tradicionales como los sobrevuelos tripulados (Moreland et al. 2015, Sweeney et al. 2015, Christie et al. 2016) o monitoreos desde botes (Adame et al. 2017). Varias investigaciones reportan no haber observado reacciones de los animales de estudio a los drones y métodos empleados (ej. Christiansen et al. 2016a, Durban et al. 2016, Hodgson et al. 2017), mientras que en otras publicaciones figuran observaciones de reacciones en función a la altura de vuelo (ej. Adame et al. 2017, Ramos et al. 2017b, Ramos et al. 2018), al tipo de acercamiento por parte del dron (ej. Domínguez-Sánchez et al. 2018), así como al tipo de dron empleado, y la edad, sexo y contexto biológico de la especie (ej. Pomeroy et al. 2015).

En un estudio reciente enfocado al efecto de drones multirrotor sobre toninas y manatíes antillanos, Ramos et al. (2018) reportaron reacciones al dron en el 13% de toninas (altura de vuelo promedio $19.65\text{m} \pm 4.96\text{ SD}$) y 41% de manatíes (altura de vuelo promedio $20.6 \pm 14.99\text{ SD}$) registrados. Los autores también observaron que las respuestas de los manatíes (huida) tuvieron mayor duración e intensidad que las respuestas de los delfines. Por otra parte, Domínguez-Sánchez et al. (2018) no

encontraron diferencias en el comportamiento de ballenas azules, comparando registros de antes, durante y después de sobrevuelos efectuados con un dron multirrotor a alturas de alrededor de 5 metros.

Aparentemente la altura de vuelo es un factor importante, identificándose como fuentes de disturbio el ruido emitido por el dron y la señal visual del mismo o su sombra (Smith et al. 2016). Christiansen et al. (2016b) evaluaron el efecto potencial del ruido producido por dos modelos de drones multicópteros en condiciones subacuáticas, encontrando que, volando a alturas menores a 10 metros, el ruido producido por éstos podía ser distinguido del ruido ambiental a un metro de profundidad y con una frecuencia que podría ser percibida por ciertos pinnípedos y misticetos. A través de registros anecdóticos durante sobrevuelos de drones sobre siete especies de mamíferos marinos (incluyendo ballenas, delfines y manatíes), Ramos et al. (2017b) observaron que los delfines reaccionan principalmente por debajo de los 33 metros, las ballenas por debajo de los cuatro metros, y los manatíes por debajo de 40 metros. Por otra parte, en su revisión sobre los efectos de drones en mamíferos marinos, Smith et al. (2016) listaron reacciones en pinnípedos generalmente por debajo de 50 -30 metros de altura de vuelo.

Aunque en general los drones producen significativamente menos ruido (a 100 m un dron de ala fija pequeño produce 50 dBA) que aeronaves tripuladas (75 dBA a 100 m, Christie et al. 2016), el ruido producido puede variar según el modelo, generando niveles de ruido distintos a la misma altura (Erbe et al. 2017). Un monitoreo aéreo responsable requiere seleccionar drones poco ruidosos o mayores altitudes de vuelo para evitar disturbios de los animales estudiados (Goebel et al. 2015). Asimismo, para generar prácticas de mínimo impacto sobre la vida silvestre son necesarios experimentos que cuantifiquen el nivel de disturbio usando tanto individuos en cautiverio como en libertad, y el desarrollo e implementación de protocolos específicos a la especie, incluyendo altura de vuelo óptima (Hodgson y Koh 2016, Ramos et al. 2018). Por lo mismo, se planteó describir y cuantificar los efectos del equipo usado en este proyecto sobre manatíes antillanos en condiciones de cautiverio.

6.2.2. MÉTODOS

Con el fin de determinar cómo reaccionan los manatíes antillanos al ser expuestos a un dron liviano, se registró la respuesta de 25 individuos en cautiverio al ser sobrevolados por un dron P3A. Las pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones de los delfinarios de Dolphin Discovery (sedes de Puerto Aventuras, Puerto Aventuras Dreams, Isla Mujeres y Cozumel), Xcaret y Xel – Ha (Figura 2). Información sobre los animales mantenidos en estas instalaciones (Tabla 2) fue adaptada de Ortega-Argueta y Castelblanco-Martínez (2018) y se resume en el anexo 13.2. En el caso de mal tiempo asociado a lluvias o fuertes vientos, se postergaron las pruebas. Los vuelos del dron se llevaron a cabo en horarios diversos para no interferir con las actividades turísticas programadas en las instalaciones.

Tabla 2. Locaciones y manatíes mantenidos en cautiverio sobre los que se realizó la prueba de efecto del dron P3A, en Quintana Roo, México.

Locación	Número de Manatíes	Sexo	Nombres
DD Puerto Aventuras	8	3 Machos 5 Hembras	Pablo, Quijote, Nohoch Julieta, Dorothy, Conchis, Claudia, Bombon
DD Puerto Aventuras Dreams	2	2 Machos	Roberto, Lorenzo
DD Isla Mujeres	4	2 Machos 2 Hembras	César, Fabián Sabina y cría

DD Cozumel	3	3 Machos	Yoltzin, Angel, Edgar
Xel -Há	2	2 Hembras	Tunich, Nikté
		1 Macho	Nohoch
Xcaret	6	2 Machos	Mach, Buul
		3 Hembras	Baxal, Dayami, Pompom



Figura 2: Locaciones con manatíes en cautiverio evaluadas.

De esquina superior izquierda a derecha en orden descendente: Dolphin Discovery (DD) Puerto Aventuras, DD Dreams, DD Isla mujeres, DD Cozumel, Xel-Há, Xcaret. Fotografías propias, tomadas a 50 m de altura con el dron P3A.

Se realizó una sola prueba por sitio para evitar los sesgos asociados a una posible habituación. Se evaluó el comportamiento de los manatíes en tres bloques de 15 minutos de observación: antes (control), durante y después del sobrevuelo con dron (total 45 min). Para ello dos observadores se posicionaron alrededor del área de confinamiento de los animales y grabaron simultáneamente un video intentando cubrir toda el área. Durante las pruebas el dron fue dirigido por un operador desde la orilla que lo posicionó sobre los animales, realizando paradas de 3 minutos a 100, 40, 20, 10 y 5 m de altitud (adaptado de Christiansen et al. 2016b). Durante la prueba también se tomó un video con la cámara del dron.

Durante el análisis de los videos se usó el método de registro focal continuo (Crockett 1996) para determinar la frecuencia respiratoria (respiraciones/minuto) y el porcentaje de tiempo invertido en distintos estados de comportamiento por cada individuo. Para esto se anotó el número de respiraciones y el tiempo de inicio y fin de cada estado. También se anotaron los tiempos “fuera de vista” de cada animal. Como su nombre lo indica “fuera de vista” se refiere a los momentos en que el individuo evaluado no es visible, por lo que no se puede saber qué clase de comportamiento exhibe. Debido a que los videos grabados no permitían un registro detallado de comportamiento, se consideraron los siguientes estados de comportamiento:

- Desplazamiento (D): desplazamiento circular o con dirección definida, en este caso se evalúa como medida de actividad.

- Estacionario en fondo (EF): actividades realizadas por el individuo evaluado mientras permanece en el fondo de su estancia sin desplazarse. Puede abarcar descanso y movimientos cortos en distancias menores al largo del individuo.

- Estacionario en superficie (ES): actividades realizadas por el individuo evaluado mientras permanece en la superficie o cerca de la superficie del agua sin desplazarse. Puede abarcar descanso y movimientos cortos en distancias menores al largo del individuo.

Para calcular los porcentajes de tiempo por estado, se descartaron los tiempos fuera de vista, considerando sólo el tiempo bajo observación (ej: segundos en D/segundos en D+EF+ES), de modo que los porcentajes sean comparables entre individuos. Si durante la revisión de videos se detectaron conductas que a criterio del observador evidenciaron una respuesta al dron, estas conductas se clasificaron como “conductas relevantes” y se describieron en detalle.

En la comparación de frecuencias respiratorias y estados de comportamiento entre bloques de observación (durante y después del vuelo con dron), se empleó una prueba no paramétrica, la prueba Wilcoxon para muestras dependientes o pareadas. Para ello se usó el programa STATISTICA 0.7 (StatSoft, Inc. Tulsa, Oklahoma, USA, 2004). Considerando los tiempos “fuera de vista” en cada video, sólo se incluyeron individuos con más de 5 minutos de tiempo observado en las comparaciones de frecuencia respiratoria, e individuos con más de 4 minutos de tiempo observado en las comparaciones de categorías de comportamiento.

6.2.3. RESULTADOS

Se llevaron a cabo ocho visitas a las seis instalaciones seleccionadas, ya que en dos ocasiones no se pudo realizar el trabajo debido a fuertes vientos. Se obtuvieron un total de 37 videos tomados con cámara y 7 videos tomados con dron para su análisis. En total se revisaron 660 min de video, considerando que la duración de cada video fue de aproximadamente 15 min. Durante la revisión de videos, no todos los individuos pudieron identificarse., por lo que a estos se les asignó un código alfanumérico cuya primera letra corresponde al sexo (H=hembra, M= macho, I= indeterminado), sigue el número de orden en el cual el individuo fue evaluado y las últimas letras corresponden al acuario de procedencia (PA=Puerto Aventuras, CZ= Cozumel, XC= Xcaret, PAD= Puerto Aventuras Dreams, XH=Xel-ha, IM=Isla Mujeres). Los códigos asignados y datos de comportamiento asociados pueden revisarse en el anexo 13.3. En la descripción de los comportamientos relevantes y datos de anexo 13.3 se incluyó el nombre de los individuos que lograron identificarse.

En la Tabla 3 se resume la información registrada en los grupos de manatíes respecto a la presencia de conductas relevantes durante el sobrevuelo y a la experiencia de sobrevuelos previos (información

proporcionada por los entrenadores de los animales). El comportamiento individual en cuanto a frecuencia respiratoria, tiempo observado, tiempo fuera de vista y porcentaje de tiempo observado dedicado a cada estado de comportamiento puede revisarse en el anexo 13.3.

Tabla 3. Experiencia de sobrevuelos previos y conductas relevantes registradas para grupos de manatíes en cautiverio sobre los que se realizó la prueba de efecto del dron.

Locación	Fecha	Número de Animales	Sexo	Conductas relevantes*	Sobrevuelos Anteriores**
Puerto Aventuras	2/05/2017	8	Mixtos	Sí	No
Cozumel	9/05/2017	3	Machos	No	Sí
Xcaret	25/07/2017	3	Hembras	No	No
Xcaret	25/07/2017	3	Machos	Sí	Sí
Dreams	26/07/2017	2	Machos	No	No
Xel – Ha	26/07/2017	2	Hembras	Sí	No
Isla Mujeres	27/07/2017	4	Mixtos	No	No

*Se refieren a conductas de los manatíes que ocurrieron durante el sobrevuelo con dron, y que a criterio del observador evidencian una reacción al dron. Pueden incluir: coletazo, abandono del área previamente ocupada, agrupamiento, uso de zonas más profundas, uso de espacios cubiertos.

**Información brindada por personal de cada sitio, relacionada a si los animales tuvieron experiencias previas de ser sobrevolados con drones antes de nuestra prueba.

Durante el sobrevuelo se registraron conductas relevantes en 3 de los grupos evaluados. Se describen a continuación:

Puerto Aventuras: Los manatíes en este acuario exhibieron conductas de agrupamiento, abandono de área previamente ocupada y ocupación de zona más profunda. Durante los primeros 100 segundos de registro (a partir de que el dron alcanzó los 100 m de altura), los 8 individuos se concentraron en el extremo más profundo de su área de confinamiento. Durante el sobrevuelo, el grupo ocupó un área menor que durante el bloque de observación previo. Se observó que los individuos A1H1PA, A2H1PA y A1H2PA, A2H2PA permanecieron asociados a las hembras más grandes (H1PA y H2PA respectivamente) durante y luego del vuelo del dron. Durante el bloque de observación previo al vuelo, estos individuos no se mantuvieron siempre como grupo.

Xcaret (Machos): En este acuario se registró un evento de coletazo y el abandono del área previamente ocupada. Se escuchó un coletazo durante el despegue del dron, pero no se identificó al individuo que exhibió esta reacción. Durante los primeros 70 segundos de registro (a partir de que el dron alcanzó los 100 m de altura), el macho “Mach” abandonó el área que ocupó durante el bloque de observación previa, y permaneció en una poza conectada durante todo el sobrevuelo. “Mach” regresó al área inicial al terminar el vuelo. Los otros machos no abandonaron el área.

Xel-Ha: En este acuario se registró el uso de espacios cubiertos no ocupados previamente. La hembra H2XH mostró interés por un tabladillo de madera a partir de los 5 minutos de iniciado el registro (altura del dron 40 metros), metiendo y sacando la cabeza (5:00) y parte del cuerpo (5:30) bajo el tabladillo. Durante el descenso del dron de 40 a 20 metros, H2XH ingresó totalmente bajo el tabladillo, atravesándolo para permanecer bajo el puente situado al extremo del tabladillo (5:49 – 6:48). H2XH repitió esta secuencia cuando el dron de encontraba a 5 m de altura (14:31 – 15:00). H1XH colocó su cabeza bajo las escaleras que conectan la plataforma de visitantes con su área de confinamiento durante el descenso del dron de 100 a 40 metros (2:39). Posteriormente, cuando el dron se encontraba a 10

metros, exploró esta zona en dos ocasiones, primero colocando la cabeza bajo las escaleras (9:35) y luego colocando la mitad del cuerpo (10:44).

Se observaron menores frecuencias respiratorias durante el sobrevuelo (Tabla 4, Figura 3). Al realizar la prueba Wilcoxon para muestras pareadas, se encontraron diferencias significativas en la frecuencia respiratoria de los animales observados antes y durante el sobrevuelo con el dron ($T= 28$, $Z=2.296$, $p=0.022$). No se encontraron diferencias antes y después del sobrevuelo ($T= 36$, $Z=1.917$, $p=0.055$).

Tabla 4: Frecuencia respiratoria para cada bloque de evaluación de la prueba de efecto del dron sobre manatíes (n=18)

Bloque	Promedio	Mínimo	Máximo	DS	ES
Antes	0.504	0.188	1.033	0.261	0.062
Durante	0.412	0.196	0.811	0.174	0.041
Después	0.545	0.236	1.146	0.279	0.066

Antes (bloque previo al vuelo del dron), Durante (bloque durante el vuelo del dron), Después (bloque posterior al vuelo del dron), DS (desviación estándar), ES (error estándar). Se incluyeron sólo individuos con más de 5 minutos de tiempo observado en las comparaciones de frecuencia respiratoria (n=18).

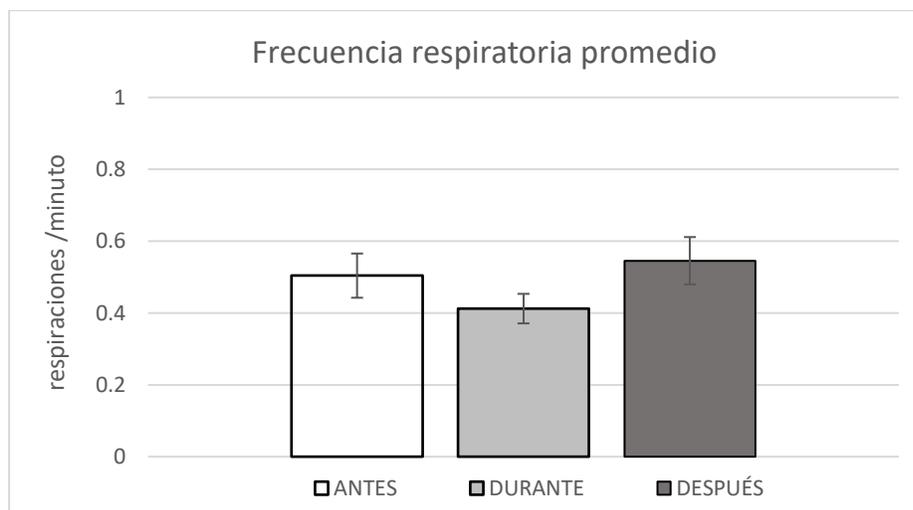


Figura 3. Frecuencia respiratoria promedio (18 individuos) y error estándar: antes(control), durante y después de sobrevuelo con dron.

En promedio, los animales pasaron más tiempo desplazándose que estacionarios en el fondo y en superficie (Figura 4). Los porcentajes de tiempo invertidos en cada categoría de comportamiento y los resultados de la prueba Wilcoxon para muestras pareadas sugieren que respecto al control (antes de sobrevuelo), los animales pasaron significativamente más tiempo en actividad (desplazamiento, $N=21$, $T=30$, $Z= 2.972$, $p=0.003$) y menos tiempo en la superficie ($N=21$, $T=17$; $Z=2.637$; $p=0.008$) durante el sobrevuelo. Estas diferencias también fueron significativas antes y después del vuelo (desplazamiento, $N=21$, $T=46$, $Z= 2.416$, $p=0.016$; $N=21$, E. superficie, $T=33$, $Z= 2.059$, $p=0.039$). Los estadísticos descriptivos de categorías de comportamiento para cada bloque de evaluación se incluyen en la Tabla 5.

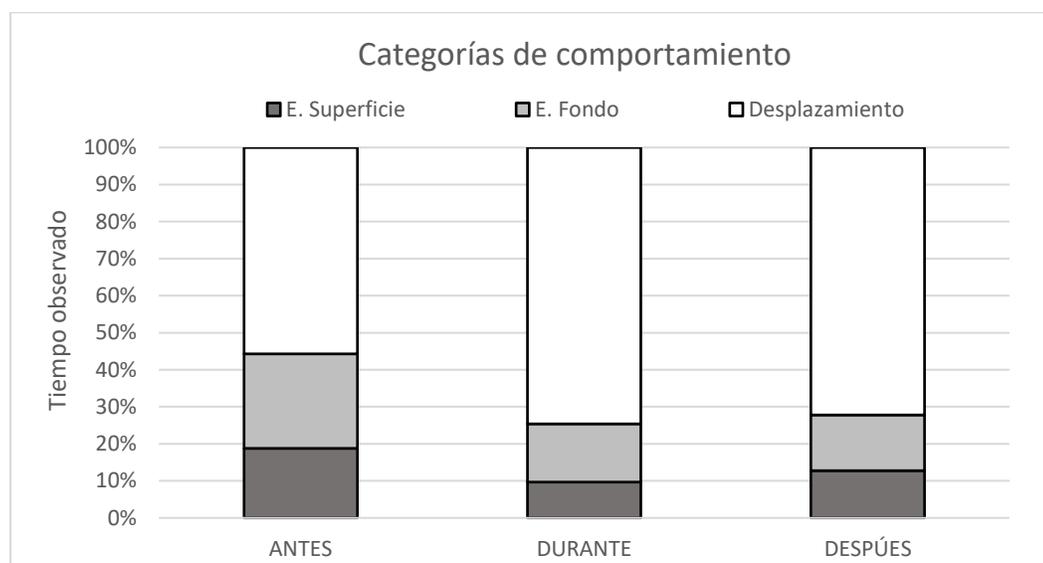


Figura 4: Porcentaje promedio (21 individuos) de tiempo invertido en cada categoría de comportamiento: antes (control), durante y después de sobrevuelo con dron P3A.

Tabla 5: Categorías comportamentales para cada bloque de evaluación de la prueba de efecto del dron sobre manatíes (n=21)

Categoría	Bloque	Promedio	Mínimo	Máximo	DS	ES
Estacionario en Superficie	Antes	18.789	0.00	50.235	18.874	4.119
	Durante	9.659	0.00	82.158	21.332	4.655
	Después	12.787	0.00	95.076	28.264	6.168
Estacionario en Fondo	Antes	25.540	0.00	77.333	27.556	6.013
	Durante	15.744	0.00	52.747	17.913	3.909
	Después	15.017	0.00	77.001	26.379	5.757
Desplazamiento	Antes	55.671	6.729	100.00	29.753	6.493
	Durante	74.597	3.597	100.00	28.425	6.203
	Después	72.196	0.000	100.00	35.007	7.639

Antes (bloque previo al vuelo del dron), Durante (bloque durante el vuelo del dron), Después (bloque posterior al vuelo del dron), DS (desviación estándar), ES (error estándar). Sólo se incluyeron individuos con más de 4 minutos de tiempo observado (n=21).

6.2.4. DISCUSIÓN

De las pruebas realizadas, se evidencia que el dron Phantom 3 (P3A) tiene un efecto sobre los manatíes estudiados, particularmente sobre la frecuencia respiratoria y actividad de los animales. Gibbs et al. (2010), también encontraron que manatíes de Florida incrementan sus niveles de actividad ante el disturbio por la adhesión de peces loricáridos introducidos. La disminución de frecuencia respiratoria se observa generalmente en los estados de descanso (Hartman 1979) pero también se han observado apneas en condiciones de estrés durante capturas de manatíes para la colocación de dispositivos de seguimiento (Wong et al. 2012).

Ramos et al. (2018) estudiaron la respuesta de manatíes en vida libre al ser sobrevolados por drones del mismo modelo que el empleado en este estudio (P2, P3 y P4), encontrando respuestas el 24% de veces

en que los manatíes fueron expuestos al dron. Ramos et al. (2018) observaron que todos los animales reaccionaron huyendo, siendo capaces de evadir la trayectoria del dron al ser seguidos. Dado que nuestras pruebas se realizaron en cautiverio, los animales no tuvieron posibilidad de huir a otras áreas, pero el incremento en actividad registrado durante el vuelo con dron podría reflejar la reacción de huida, así como el abandono de zonas ocupadas antes del vuelo (grupo en DD. Puerto Aventuras y macho “Mach” en Xcaret), y en el caso de en grupo de DD. Puerto Aventuras, la ocupación de un área más profunda.

El registro de conductas relevantes, evidenciando reacciones al dron, ocurrió en tres de los grupos analizados, y los comportamientos exhibidos fueron variados (agrupamiento, abandono de zona, golpe de cola, uso de nuevos espacios cubiertos). El golpe de cola parece ser una reacción común de sorpresa o susto antes de iniciar una huida (Hartman 1979, Ramos et al. 2018), mientras que el abandono de zona se puede relacionar a la reacción de huida observada en manatíes como respuesta a otros disturbios, como embarcaciones (Nowacek et al. 2004) y personas (King y Heinen 2004). No se ha registrado evidencia de agrupamiento de manatíes como reacción ante el peligro en la literatura revisada, pero en DD. Puerto Aventuras, donde se registró este comportamiento, el encierro alberga 8 individuos y sólo tiene una zona profunda marcada, que fue hacia donde se dirigió todo el grupo. Por lo tanto, el agrupamiento registrado puede ser interpretado como el desplazamiento del grupo hacia una zona más profunda y segura. Reacciones similares se han observado ante el acercamiento de embarcaciones, pues los manatíes tienden a huir hacia zonas más profundas (Nowacek et al. 2004). Finalmente, Hartman (1979) observó en dos ocasiones cómo individuos se ocultaban entre la vegetación al ser seguidos por un bote. La reacción de “escondersse” bajo espacios cubiertos, (como el tabladillo en el caso de la hembra X2XH) es similar.

Se registró una reacción al inicio del vuelo (coletazo en grupo machos, locación Xcaret), cuando el dron aún no se encontraba sobre los animales, pero las hélices ya producían ruido. Esto apoyaría la afirmación de que los animales pueden ser perturbados por el sonido que emite el dron (Smith et al. 2016) y por lo tanto las recomendaciones a favor del uso de drones menos ruidosos y de mayores alturas de vuelo (Goebel et al. 2015, Ramos et al. 2018). Típicamente, a menor altura de vuelo, el ruido recibido bajo el agua es mayor (Erbe et al. 2017). Sin embargo, en ambientes someros y a un metro de profundidad, el ruido producido por un dron multirrotor sólo sería distinguible del ruido ambiental volando a alturas menores a 10 metros (Christiansen et al. 2016b). Esto indicaría que, a alturas mayores a 10 m, el ruido del dron no debería ser evidente. Más aún, si contrastamos los audiogramas para manatí presentados por Gaspard et al. (2012) con los niveles de ruido de multicópteros reportados por Christiansen et al. (2016b), los manatíes no serían capaces de detectar un dron volando entre 5-10 m de altura, a un metro de profundidad. Sin embargo, ya se ha evidenciado que los manatíes son capaces de detectar y reaccionar ante drones, registrándose reacciones hasta en una altura de vuelo de 104 m (Ramos et al. 2018). Aunque no nos fue posible demostrar el efecto de la altura de vuelo sobre los animales, ya existe evidencia de que los manatíes (en vida libre) reaccionan generalmente por debajo de alturas de vuelo de 40 m (Ramos et al. 2017b). Otros autores no encontraron reacciones en sus sobrevuelos de drones por encima de 100 metros para dugones (Hodgson et al. 2013) y manatíes de Florida (Jones et al. 2006).

Finalmente, hay que considerar que aunque Ramos et al. (2018) detectaron respuestas al dron en manatíes silvestres, en la mayoría de casos los manatíes sobrevolados no mostraron una respuesta al dron. Durante nuestra prueba, las conductas relevantes no fueron registradas en todos los grupos. Esta diferencia puede estar relacionada con las condiciones de mantenimiento en cautiverio, con la experiencia de los individuos, y/o con la personalidad de cada uno. Ciertos individuos o grupos

probablemente no reaccionaron debido a habituaciones por experiencias previas con drones (Tabla 3). Ramos et al. (2018), reportaron que ciertos manatíes reaccionan al dron sólo durante su primera experiencia, mientras que otros lo hacen repetidamente. Esto expresaría las diferencias en personalidad de los individuos, siendo algunos más propensos al estrés. La variable “personalidad” debería ser considerada al analizar impactos negativos sobre los manatíes, ya que lo que para un tipo de manatí puede ser perjudicial, a otro no le afectaría (Sorice et al. 2003). También tenemos que considerar que la ausencia de conductas o reacciones obvias para el observador no impide que exista un nivel de estrés expresado de manera fisiológica. Por ejemplo, cambios en la frecuencia cardíaca, tasa respiratoria, y parámetros bioquímicos son indicadores de estrés durante el manejo de manatíes capturados para colocarles dispositivos de seguimiento (Wong et al. 2012). Son necesarios más estudios para ahondar en la naturaleza e intensidad de reacciones que los manatíes pueden exhibir ante los drones.

6.3. FACTORES QUE AFECTAN LA DETECCIÓN DE MANATÍES MEDIANTE MÉTODOS AÉREOS

Se realizó esta prueba con el fin de obtener información que nos permita optimizar un protocolo para el estudio y monitoreo de manatíes en el Caribe Mexicano. Se emplearon los videos grabados en la sección anterior (6.2), para evaluar los factores que condicionan la detección de manatíes al usar métodos aéreos de registro como drones, particularmente, para el caso del dron P3A.

6.3.1. ANTECEDENTES

Los monitoreos aéreos que emplean aeronaves tripuladas son la herramienta más usada para censar y estudiar la distribución de manatíes de Florida (ej. Ackerman 1995), de manatíes antillanos (ej. Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994a, Alves et al. 2016) y de dugones (ej. Marsh 1995) desde hace más de 30 años. Sin embargo, este método tiene varios sesgos asociados que dificultan las estimaciones poblacionales (Ackerman 1995), lo que ha resultado en la búsqueda de métodos de control de sesgos (Lefebvre et al. 1995), de cálculo de factores de corrección (Marsh y Sinclair 1989) y determinación de probabilidades de detección de los animales (Pollock et al. 2006, Edwards et al. 2007).

Se sabe que los factores que influyen en la efectividad de los monitoreos aéreos tripulados caen dentro de tres categorías: ambientales, de comportamiento y relacionados al muestreo o método (Lefebvre et al. 1995). Además, la probabilidad de detectar un animal en el área de muestreo tiene dos componentes: la probabilidad de que un animal presente esté visible (disponibilidad) y la probabilidad de que un animal visible sea observado (percepción, Marsh y Sinclair 1989). Los sesgos debidos a la percepción dependen del método y del observador, siendo los más fáciles de calcular (por ejemplo, estimando error con dos observadores independientes) y de evitar, esto último a través de un protocolo estandarizado de muestreo (Lefebvre et al. 1995). Por otro lado, la probabilidad de disponibilidad está afectada por variables ambientales del área de muestreo y por el comportamiento de nuestro objeto de estudio. Por lo tanto, calcular la disponibilidad de una especie en un área determinada requiere pruebas específicas. Por ejemplo, Pollock et al. (2006) usaron profundímetros para calcular los tiempos de permanencia de dugones a diferentes profundidades, calcularon el rango de visibilidad (en términos de profundidad) para modelos de dugones, y determinaron la probabilidad de disponibilidad como la proporción de tiempo que los animales pasan en el rango de visibilidad. Considerando que este tipo de aproximaciones suelen ser sitio- específicas, es recomendable que los investigadores estimen los componentes de la probabilidad de detección para cada monitoreo (Edwards et al. 2007). Otra fuente de sesgo remarcada por Lefebvre et al. (1995) es el sesgo asociado a las ausencias, es decir la proporción de la especie objetivo que no está presente en el área de muestreo. Para minimizar esta fuente de sesgo, el autor

menciona que el esfuerzo de muestreo debería ser proporcional a las densidades y distribuciones conocidas.

Puede asumirse que los mismos factores que afectan la detección aérea mediante aeronaves tripuladas aplicarán a la detección aérea mediante drones, principalmente en cuanto a los factores ambientales y de comportamiento que condicionan la disponibilidad de los animales. En cuanto al sesgo de percepción, los drones serían más precisos respecto a los sobrevuelos tripulados (Colefax et al. 2017), ya que proveen un registro visual permanente de alta resolución (Hodgson et al. 2013). Entre las variables ambientales que ya han sido consideradas en el registro de sirenios mediante sobrevuelos tripulados o de drones se tienen: el estado de superficie del mar (expresado es escala Beaufort), la profundidad, la turbidez y el brillo solar (Pollock et al. 2006, Edwards et al. 2007, Hodgson et al. 2013). Considerando lo anterior, es necesario tomar en cuenta los factores que influyen en la detección de manatíes mediante drones livianos para construir un protocolo efectivo de uso.

6.3.2 MÉTODOS

Con la finalidad de determinar condiciones óptimas de observación de manatíes mediante drones, se evaluaron variables que posiblemente afecten la detección. Para esto se emplearon los videos previamente grabados con el dron en cautiverio (n=6) con el fin de estudiar el efecto de los drones sobre los manatíes (sección 6.1).

Los videos tienen una duración de 15 minutos y cada uno se grabó abarcando un rango de altura de vuelo de 100 a 5 metros. Fueron tomados bajo condiciones ambientales diversas, y las características del encierro de los animales fueron variadas, por lo que se asumió que la detección mediante drones es afectada por estas condiciones. Se consideraron turbidez, brillo solar y altura de vuelo como variables para el análisis.

Del conjunto de videos se extrajeron un total de 24 imágenes considerando cuatro categorías de altura (100-90 m, 80-70 m, 60-50 m, 40-30m) en las seis locaciones evaluadas. Tomando en cuenta la información registrada para cada locación en el momento en que los videos fueron tomados, se asignó un valor (mínimo:1, bajo:2, medio:3, alto:4) para las condiciones de visibilidad de fondo (a partir de aquí designada como turbidez) y brillo solar predominantes. De este modo cada imagen tuvo asignado un valor de turbidez, brillo y altura de vuelo. Los criterios para la categorización de turbidez, brillo solar y altura pueden revisarse en la Tabla 6 y un resumen de las características por locación de registro en la Tabla 7. Otros autores también establecieron niveles cualitativos de turbidez (Alves et al., 2016; Hodgson et al., 2013; Hodgson et al., 2010; Pollock et al., 2006) y brillo (Hodgson et al., 2013; Hodgson et al., 2010) durante sus sobrevuelos tripulados o de drones. De hecho, los niveles de brillo solar empleados en este estudio son equivalentes a la clasificación realizada por Hodgson et al. (2013), quienes reportaron los mayores niveles de brillo en sus fotografías entre las 12:30 y 3:00 pm.

Tabla 6. Criterios para categorización de altura, brillo solar y turbidez en imágenes y videos obtenidos mediante dron P3A

Nivel	Valor	Altura (m)	Brillo solar	Turbidez
Mínimo	1	30 - 40	Reflejo en 0% de la superficie	Fondo y objetos presentes en fondo se observan nítidos
Bajo	2	50 - 60	Reflejo en <25% de la superficie	Fondo y objetos presentes en el fondo borrosos pero diferenciables

Medio	3	70 - 80	Reflejo en 25 - 50% de la superficie	No se diferencian objetos en el fondo, pero son visibles como manchas o contrastes
Alto	4	90 - 100	Reflejo en > 50% de la superficie	El fondo no es visible, o la mayor parte del fondo no es visible.

Tabla 7. Características de los videos tomados en las seis locaciones albergando manatíes en cautiverio

Parámetros*	Puerto Av.	Dreams	Isla mujeres	Cozumel	Xel-Ha	Xcaret
Numero de manatíes	8	2	4	3	2	6
Hora de video	13:21-13:36	11:24-11:39	9:57-10:12	12:25-12:40	18:07-18:22	9:12-9:27
Reflejo solar	Bajo	Medio	Mínimo	Alto	Mínimo	Mínimo
Turbidez	Media	Media	Mínima	Media	Baja	Alta

*Se incluyen los niveles de reflejo solar y turbidez registrados en cada locación durante la toma de videos. Las imágenes extraídas tendrán los mismos valores de reflejo solar y turbidez que el video correspondiente.

Se elaboró una encuesta *online* (anexo 13.4) usando el conjunto de 24 imágenes y se invitó a un grupo de estudiantes y académicos a participar. El grupo de invitados tenía diferentes campos y niveles de experiencia, incluyendo un número de personas que contaba con experiencia previa en detección de manatíes mediante métodos aéreos (sobrevuelos tripulados o drones). Basados en esto, se decidió separar a los encuestados en dos grupos: experimentados (con experiencia previa en detección aérea) y no experimentados. La encuesta consistió en revisar el conjunto de 24 imágenes y seleccionar de entre las opciones de 0 a 8, el número de manatíes detectados en cada imagen.

Se definieron grados de detección con base en las proporciones de detección de encuestados (número de animales observados / número de animales presentes) obtenidas para cada imagen. De esta forma, se clasificaron los grados de detección en: subestimaciones (proporción < 1), aciertos (proporción= 1) y sobreestimaciones (proporción > 1). Se usó una prueba chi-cuadrado para determinar si hubo diferencias en la detección según la experiencia del observador.

No se usó la proporción de detección (número de animales observados / número de animales presentes) como variable para buscar relaciones entre la detección y variables ambientales, porque las sobreestimaciones son tomadas como un incremento en la detección, cuando en realidad tanto subestimaciones como sobreestimaciones están asociadas a error. En este sentido, para representar mejor el grado de error en la observación, se tomó como variable respuesta la diferencia absoluta entre animales observados y presentes, de tal forma que a medida que los valores se alejan del cero, se incrementa el grado de error (por subestimación o por sobreestimación). Se corrieron análisis estadísticos exploratorios y un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) para explicar el grado de error en función a las variables consideradas. Para el modelo se asignó rangos a altura (1-4) del mismo modo que para turbidez y reflejo. Se usó el paquete *lme4*, tomando como variable dependiente: |número de animales presentes – número de animales observados| +1, con distribución Poisson. El proceso de selección de modelos inició con un modelo conteniendo todas las variables de interés (turbidez, brillo, altura, experiencia), a partir del cual se fueron eliminando las variables que no fueron significativas para el modelo. Se seleccionó el modelo con menor criterio de información de Akaike (AIC) y menor variancia de residuales. Acuario (6 locaciones, factor) se consideró como efecto aleatorio, con altura como variable anidada. Todos los análisis estadísticos se realizaron en RStudio versión 1.1.453 (2009-2018 RStudio.Inc).

6.3.3. RESULTADOS

En las encuestas a partir de imágenes obtenidas de sobrevuelos en cautiverio participaron 28 personas analizando 24 imágenes, obteniéndose 672 respuestas. De los encuestados, 11 contaban con algún tipo de experiencia previo en detección aérea de manatíes (experimentados), mientras que el resto fueron no experimentados. En la Figura 5 se grafica el porcentaje de participantes según su experiencia.

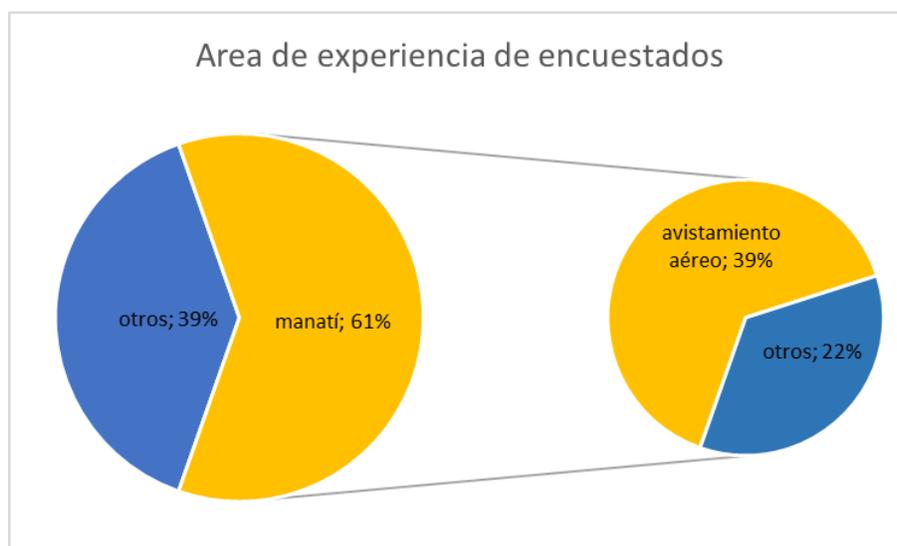


Figura 5. Porcentaje de encuestados según área de experiencia

Se resumieron las respuestas según la locación y encuestados (Tabla 8). Mayores porcentajes de acierto se observaron en locaciones de XelHá, Dolphin Discovery Puerto Aventuras Dreams y Dolphin Discovery Isla Mujeres. Encuestados sin experiencia presentaron los mayores porcentajes de sobreestimación.

Tabla 8. Distribución de respuestas según grado de detección para encuestados con experiencia y sin experiencia

Sitio	Respuestas de encuestados con experiencia (%)				Respuestas de encuestados sin experiencia (%)			
	Sub	Aciertos	Sobre	Total	Sub	Aciertos	Sobre	Total
Xcaret	100.00	0.00	0.00	100	95.59	2.94	1.47	100
Xel-Ha	18.18	81.82	0.00	100	20.59	73.53	5.88	100
DD. PA	100.00	0.00	0.00	100	95.59	4.41	0.00	100
DD. PAD	47.73	50.00	2.27	100	44.12	44.12	11.76	100
DD. IM	52.27	47.73	0.00	100	61.76	30.88	7.35	100
DD. C	95.45	2.27	2.27	100	98.53	0.00	1.47	100

*DD.PA (Dolphin Discovery Puerto Aventuras), DD.PAD (Dolphin Discovery Puerto Aventuras Dreams), DD.IM (Dolphin Discovery Isla Mujeres), DD.C (Dolphin Discovery Cozumel). Sub (subestimaciones), Sobre (sobreestimaciones).

Considerando observadores experimentados y no experimentados, se encontró diferencias en la distribución de respuestas por número de subestimaciones, aciertos y sobreestimaciones ($\chi^2 = 8.8848$, $df=2$, $p\text{-value} = 0.01177$), pero al agrupar las respuestas como aciertos y desaciertos, no se encontró diferencias según la experiencia del observador ($\chi^2 = 1.288$, $df=1$, $p\text{-value} = 0.2564$).

Para el análisis exploratorio de los datos, se corrieron correlaciones de Spearman para evaluar la relación del grado de error ($|$ animales presentes – animales observados $|$) con altura ($p = 0.191$), turbidez ($p = 0.535$) y brillo solar ($p = 0.147$) según experiencia de los encuestados. Se encontró que, de las variables evaluadas, el grado de error está más relacionado al nivel de turbidez.

El modelo GLMM tomó la forma: $da.t \sim turbidez -1 + (1 | acuario/altura)$, reflejando la importancia de la turbidez como fuente de error en la detección de manatíes bajo las condiciones del experimento. La turbidez fue significativa, con un coeficiente de 0.35483 ($SE = 0.058$, $z = 6.161$, $Pr = 7.23e-10$). En cuanto a los efectos aleatorios los parámetros fueron: altura anidado en acuario ($var = 0.095$, $SD = 0.308$), acuario ($var = 0.13223$, $SD = 0.3636$). La varianza de residuales fue 0.273 y el AIC 2165.

6.3.4. DISCUSIÓN

Las pruebas revelaron que la variable ambiental de mayor importancia es la turbidez. Esto concuerda con lo encontrado por Hodgson et al. (2013), quienes también consideraron el efecto de variables ambientales (turbidez, brillo solar, Beaufort) y altura en sus tasas de detección de dugones usando fotografías tomadas mediante un dron de ala fija, y reportaron turbidez como la única variable afectando las tasas de avistamiento de dugones.

En cuanto al efecto de la altura de vuelo sobre la detección, la altura afectaría la percepción del observador (Marsh y Sinclair 1989). Se sabe que a mayor altura la resolución disminuye, aunque no se ha observado que las alturas de vuelo tengan efecto sobre la detección de dugones (en alturas evaluadas de 152 m, 228 m, 305 m; Hodgson et al. 2013) y de aves marinas (en alturas evaluadas de 30 m, 60 m, 90 m, 120 m; Hodgson et al. 2018). Esto sugiere que existe un intervalo de alturas adecuado para la detección según el tamaño del objeto de estudio y el tipo de sensor utilizado (cámara). En nuestro modelo, la altura (anidado en acuario, como efecto aleatorio) también aporta variabilidad, aunque en menor grado que la turbidez. En el análisis exploratorio, la correlación entre altura y error de detección resultó baja ($P = 0.163$ experimentados y $P = 0.154$ no experimentados) por lo tanto podemos considerar que el rango de alturas empleado para pruebas en cautiverio es adecuado para detección de manatíes, incluso a 100 m.

El brillo solar no resultó ser un factor de gran relevancia, aun considerando que se usaron imágenes extraídas de videos. En el caso de registro mediante video se incrementa la posibilidad de capturar animales fuera de la zona de brillo (Hodgson et al. 2010). Incluso usando fotografías como método de registro, el grado de superposición de imágenes podría evitar el efecto del brillo (Hodgson et al. 2013, Hodgson et al. 2017). En general, el efecto del brillo solar es uno de los más fáciles de evitar, programando las horas de vuelo, usando filtros polarizados o variando el ángulo de la cámara. Es de esperar entonces que, tomando video como método de registro, el brillo solar no sea relevante pero el efecto de la turbidez y la altura sobre la detección sí se mantengan.

Otro factor incluido en las pruebas en cautiverio fue la experiencia de los observadores encuestados. Al clasificar sus respuestas como aciertos y desaciertos (engloba subestimaciones y sobreestimaciones) no se encontró diferencias entre experimentados y no experimentados, pero al separar las respuestas en subestimaciones, aciertos y sobreestimaciones se hallaron diferencias. Podemos concluir que la experiencia no determina el nivel de acierto, pero sí el modo en que los observadores se equivocan, siendo más frecuentes las sobreestimaciones en no experimentados.

La fuerza de viento (expresada en escala Beaufort) también es un factor ambiental de importancia para detección en sobrevuelos tripulados (Pollock et al. 2006). Sin embargo, para nuestras pruebas no fue un

factor tomado en consideración debido a que las condiciones de viento en los acuarios fueron mínimas. Una excepción fue la locación Dolphin Discovery Cozumel, donde los encierros de los animales están construidos en el mar. A esa locación se le asignó el nivel más alto de brillo solar, en parte porque el estado de la superficie del mar (debido a viento) favoreció la dispersión del brillo. Es probable que se registren mayores niveles de fuerza de viento durante vuelos realizados en campo. En cuanto a sus efectos, Hodgson et al. (2013) no encontraron que la fuerza de viento fuera significativa en la detección de dugones mediante registro de fotografías usando un dron de ala fija. Estos autores sugieren que el uso de imágenes evita que los observadores se distraigan con el movimiento de las crestas de olas. Por otra parte, Koski et al. (2009) encontraron a la fuerza de viento como predictor más fuerte en sus tasas de detección de símiles de ballena, usando un dron de ala fija y registro mediante video en condiciones Beaufort=1-6. Otro factor no considerado en nuestra prueba fue el color de los animales y su contraste con el medio. Este factor también influye en las tasas de detección, como observado por Koski et al. (2009).

7. USO DE DRONES PARA DETECCIÓN DE MANATÍES EN EL CARIBE MEXICANO

7.1 ANTECEDENTES

7.1.2. ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN DE MANATÍ ANTILLANO EL CARIBE MEXICANO

La mayor cantidad de investigaciones sobre manatíes en el país se ha realizado en el Caribe Mexicano. Los estudios para determinar su distribución iniciaron en los años 1980, a través de encuestas (Colmenero-Rolón y Hoz 1986). Más adelante, se hicieron censos aéreos (Colmenero-Rolón y Zarate 1990, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994a, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994b, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997, Morales-Vela et al. 2000, Quintana-Rizzo et al. 2015). A través de estos esfuerzos se reconocieron tres áreas principales de presencia de la especie. De acuerdo con su orden de importancia: 1) Bahía de Chetumal, 2) Bahías Ascensión y Espíritu Santo en la reserva de la biosfera Sian Ka'an (RBSK) y 3) el área de caletas y cenotes entre la costa de Tulum y Playa del Carmen (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997).

Por ser el área de mayor importancia para la conservación de la especie en el estado de Quintana Roo, la Bahía de Chetumal y el sistema lagunar asociado fueron designados como Santuario del Manatí en 1996 (Gobierno del Estado de Quintana Roo 1996). En la Bahía de Chetumal, las áreas de alta densidad de manatíes corresponden a aguas cercanas a la línea de la costa (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994a), teniendo mayor uso el hábitat de ríos y lagunas asociadas a la bahía (Morales-Vela et al. 2000, Castelblanco-Martínez et al. 2013). Áxis-Arroyo et al. (1998) encontraron que el área de mayor uso por parte de los manatíes corresponde a la zona de Boca de la Barra, donde se une el sistema lagunar Laguna Guerrero y Ría Cacayuc con la Bahía Chetumal. Por otro lado, Castelblanco-Martínez et al. (2013) usaron telemetría satelital determinando como áreas de uso constante: Laguna Guerrero, el centro de la bahía y la orilla de la ciudad de Chetumal. Las variables que afectan en mayor medida la ocurrencia de individuos serían la intensidad de viento, disponibilidad de alimento (Áxis-Arroyo et al. 1998) y cercanía a fuentes de agua dulce (Olivera-Gómez y Mellink 2005).

Censos realizados por Morales-Vela y Olivera-Gómez (1994b) en la Reserva de Biosfera Sian Ka'an indican que aparentemente la presencia de manatíes no es constante a lo largo del año, siendo la Bahía de Ascensión la zona con mayor abundancia dentro de la reserva. Otro censo realizado en 2001 resalta la importancia de Bahía Ascensión y de la Bahía Espíritu Santo como zonas altamente frecuentadas (Morales-Vela y Padilla-Saldívar 2009a). En 2009 se realizó un censo aéreo específicamente para la Bahía

Ascensión, como parte de un modelo de distribución, encontrándose que el fondo de la bahía tenía las mayores probabilidades de ocurrencia (Landeró-Figueroa 2010).

Morales-Vela y Olivera-Gómez (1997) realizaron sobrevuelos en la costa entre Tulum e Isla Holbox incluyendo caletas y cenotes. Se consideraron como áreas de uso frecuente la Caleta Xel ha, cenotes Xpuha y Tanchah. Estas son áreas de uso turístico intenso para las que se requiere evaluar efectos sobre la población de manatíes. Aunque los sobrevuelos indican que los manatíes no son abundantes hacia el norte de Playa del Carmen, se han colectado restos y reportado observaciones por parte de los lugareños entre Cancún e Isla Holbox, siendo esta área posiblemente usada como zona de tránsito (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997). Recientemente (2010-2016) se han reportado 16 avistamientos (uno incluyendo hasta 15 individuos) en la Laguna Conil, dentro del área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (Ávila-Canto et al. 2017, Velásquez-Mendoza 2018). Esto permite sugerir que la población en esta área se está recuperando, por lo que se hace urgente la implementación de monitoreos constantes en esta zona.

De todo lo anterior, se resaltan la distribución heterogénea del manatí antillano a lo largo del Caribe Mexicano y las áreas de mayor importancia para la población, así como la necesidad de mantener un monitoreo incluso en las áreas de baja abundancia. La implementación de un protocolo de monitoreo mediante drones comerciales livianos facilitaría este proceso por su bajo costo y por la relativa facilidad de operación.

7.2. MÉTODOS

7.2.1. VUELOS EXPLORATORIOS

En febrero del 2017 se realizaron 11 vuelos exploratorios usando drones Phantom 3 y Phantom 4. Los vuelos se efectuaron en la zona norte de la Reserva de la Biósfera de Sian Kaán, específicamente en las lagunas costeras Boca Paila (4 vuelos) y Caapechén (3 vuelos), así como en la Laguna Guerrero (4 vuelos), cerca de la Ciudad de Chetumal. Los vuelos se realizaron a 100 metros de altura e incluyeron un total de 20 transectos de longitud variable (0.4-3.1 km). Se registró mediante video los recorridos para su posterior revisión. Se aproximó a 200 m el ancho de la imagen en video tomando como referencia el largo de un puente captado en las grabaciones. En base en esto se calculó un área cubierta de 2.7 km² para Laguna Guerrero, 1.1 km² para Laguna Bocapaila y 0.9 km² para Laguna Caapechén. En total se tuvo un esfuerzo en tiempo de 126 minutos, se recorrieron 25.4 km y se detectó un individuo en Laguna Guerrero y tres individuos (incluyendo una madre y cría) en Laguna Boca Paila.

7.2.3 VUELOS DE DETECCIÓN

Con la finalidad de probar la eficacia de los drones en la detección de manatíes antillanos en el Caribe Mexicano, se seleccionaron el Área de Protección de Fauna y Flora Yum Balam (norte), la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (centro) y el Santuario del Manatí (sur), mostrados en la Figura 6. Estas áreas protegidas se hallan dentro del área de distribución de la especie, y han sido evaluadas en censos aéreos previos (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994a, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1994b, Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997, Morales-Vela et al. 2000).

En cada área se consideraron 3 subáreas con mayor probabilidad de presencia de manatíes. Las subáreas se seleccionaron con base en información previa de detección de individuos para cada área y considerando variables de importancia para la especie, como cercanía a fuentes de agua dulce y cobertura vegetal (Olivera-Gómez y Mellink 2005).

Para el Área de Protección de Fauna y Flora Yum Balam, las subáreas se seleccionaron con base en las observaciones anotadas por Ávila-Canto et al. (2017). Se consideraron el área cercana a ciudad de Chiquilá, la zona del estero y zona cercana a la ciudad de Holbox. En el caso de la reserva de la Biósfera de Sian Ka'an se tomó en cuenta la información presentada por Landero-Figueroa et al. (2014) para explorar la zona de Vigía Grande en Bahía Ascensión y las observaciones realizadas en nuestros vuelos exploratorios preliminares, así como encuestas realizadas por Landero-Figueroa (2010) para explorar las lagunas en la zona norte de la reserva. Finalmente, basados en los estudios de Áxis-Arroyo et al. (1998) y Castelblanco-Martínez et al. (2013), se eligieron las subáreas para el Santuario del Manatí en Chetumal, tomándose la zona de la Barra, zona frente a ciudad de Chetumal, y la orilla opuesta a la altura de Calentura.

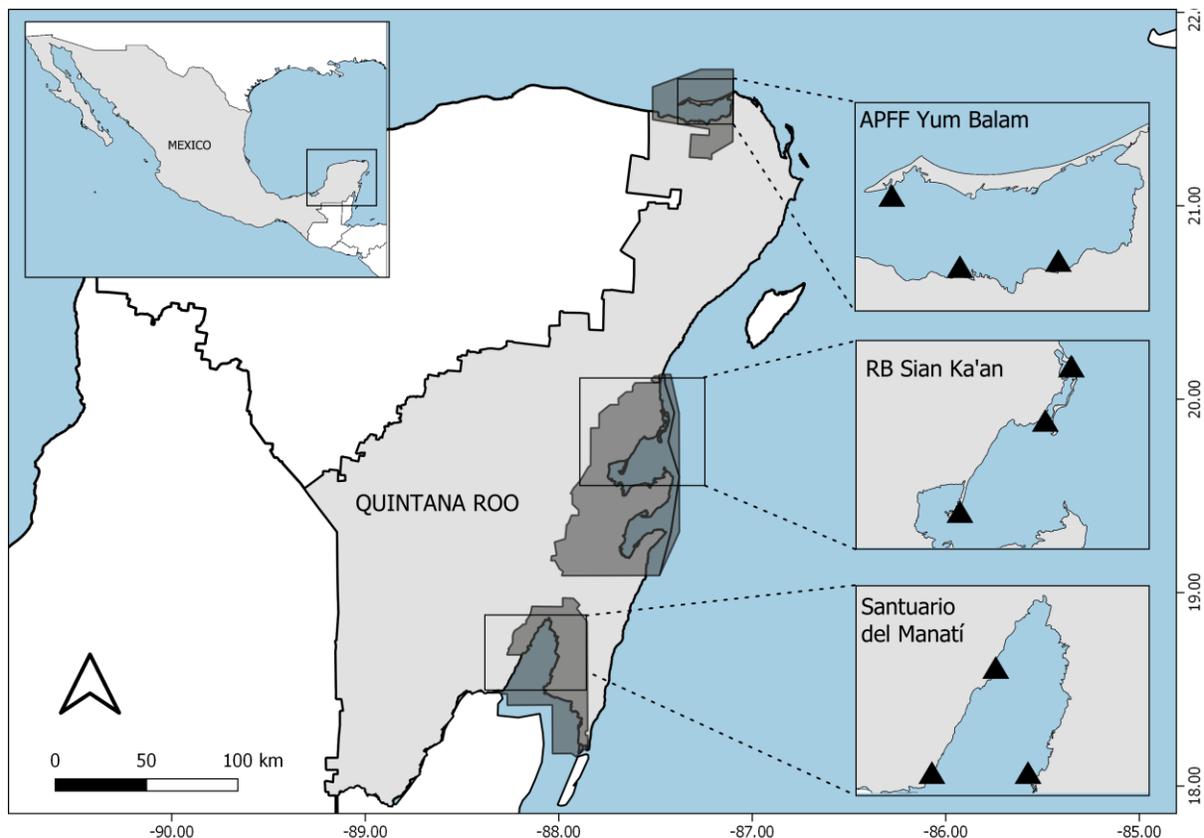


Figura 6. Ubicación de las áreas donde se realizaron los sobrevuelos de detección. En gris oscuro: Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam (Norte), Reserva de la Biósfera Sian Ka'an (centro), Santuario del Manatí (sur). Los triángulos negros señalan las subáreas de evaluación.

Típicamente, los censos aéreos de manatíes incluyen sólo el kilómetro más cercano a la costa (ej. Olivera-Gómez y Mellink 2002), por lo que se optó por trazar rutas de vuelo rectangulares comprendidas dentro del kilómetro más cercano a la costa de cada subárea. Tomando en cuenta los limitantes de número de baterías disponibles y duración de batería se decidió realizar al menos 3 vuelos por subárea.

Para estos sobrevuelos, se decidió la altura de vuelo a 100 metros. A esta altura se obtiene 154 m de ancho de banda en video, mientras que una fotografía cubre 175 m de ancho. Se eligió esta altura basándonos en la capacidad de detección observada en vuelos exploratorios previos, (este estudio, Ramos com. Pers) y tomando en cuenta las restricciones de altura establecidas por la Secretaría de Transportes y Comunicaciones (SCT) en la Circular Obligatoria CO AV 23/10 R4. En lo posible, se siguieron rutas rectangulares para obtener dos transectos perpendiculares a la costa. Se accedieron a ciertas

zonas por agua y a otras desde tierra. Se eligió videos en lugar de fotografías como método de registro ya que permiten detectar movimientos y ofrecen un mayor tiempo de observación.

Los videos grabados durante el sobrevuelo de transectos fueron revisados posteriormente al menos cuatro veces con la finalidad de detectar manatíes en ellos y caracterizar las condiciones ambientales del área. Al menos una revisión fue realizada usando un proyector para ampliar el tamaño de la imagen. Las rutas y parámetros de vuelo fueron descargados a través de la página web AirData.com luego de sincronizar la información desde la aplicación DJIGo. La información sobre ruta, altura, distancia, velocidad y tiempo de vuelo también pudo ser revisada en la interfase de la aplicación. Se creó un buffer de 77 metros para cada ruta de vuelo, considerando el ancho de banda de 154 metros y se calculó el área del nuevo polígono creado para obtener el área de muestreo. En el caso de rutas de vuelo traslapadas se fusionaron los polígonos superpuestos para calcular el área real muestreada.

7.3. RESULTADOS

Se realizaron un total de 24 sobrevuelos: 7 en el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, 8 en el Santuario del Manatí y 9 en la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an. Dificultades asociadas al clima y a los equipos usados limitaron el número de sobrevuelos programados.

Los sobrevuelos realizados sumaron 69.7 km recorridos y 253 minutos de video. Fueron registrados dos individuos (madre con cría) en el Santuario del Manatí (N 18°43'15.24", O 88°9'9"), dos individuos en la RB Sian Ka'an (N 20°6'23.04" O 87°29'41.64" y N 19°48'7.92" O 87°29'17.52") y ningún individuo en la APFF Yum Balam.

La Tabla 9 presenta el resumen de información y las figuras 7 -9, los trayectos de vuelo. Imágenes de los animales detectados pueden consultarse en el anexo 13.5. El detalle de características ambientales y de visibilidad en las zonas muestreadas se presentará en la sección 5.3.3.

Tabla 9. Resumen de información obtenida en sobrevuelos de detección de manatíes en vida libre

Area	Zona	Distancia recorrida (km)	Velocidad Promedio (km/hr)	Area Cubierta (km ²)	Animales avistados	Densidad Relativa (ind/km ²)	Búsqueda (min)
APFF Yum Balam	Chiquilá	9.8	22.5	1.07	0	0	26
	Estero	8.5	21.1	1.05	0	0	23
	Holbox	2.7	16.2	0.32	0	0	10
Santuario del Manatí	La Barra	9.7	17.9	1.18	2	1.69	32
	Calentura	4.3	20	0.6	0	0	13
	Chetumal	8.6	14.4	1.25	0	0	36
RB Sian Ka'an	Caapechén y Bocapaila	7.7	15.3	1.00	1	1	30
	Punta Allen	5.5	12.7	0.68	0	0	26
	Bahía Ascensión	2.9	11	0.42	0	0	16
	Punta Allen	10	15	1.46	1	0.68	41
Total	-	69.7	16.6	9.03	4	0.44	253

Para el APFF Yum Balam, los vuelos se llevaron a cabo el 18/07/2017. En el Santuario del Manatí los vuelos se realizaron el 18/09/2017 y 14/10/2017. Para la RB Sian Ka'an, los vuelos ocurrieron el 16/10/2017, 18/10/2017 y 19/10/2017.

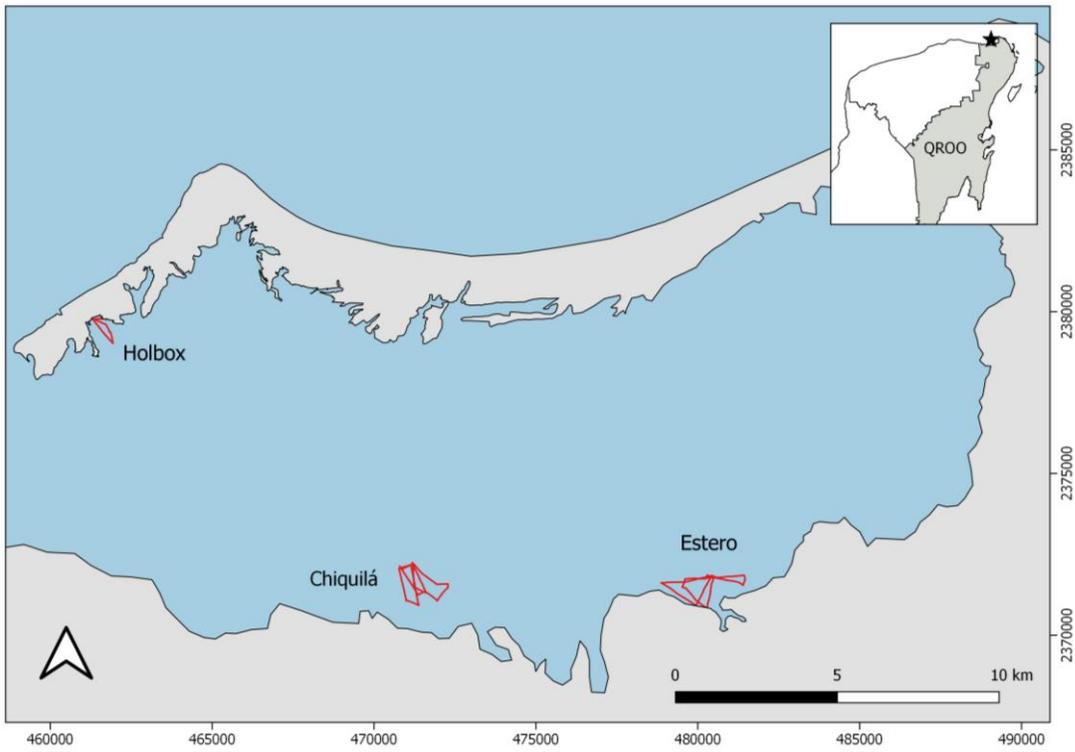


Figura 7. Vuelos de detección realizados en APFF Yum Balam.
En rojo, los trayectos de vuelo.

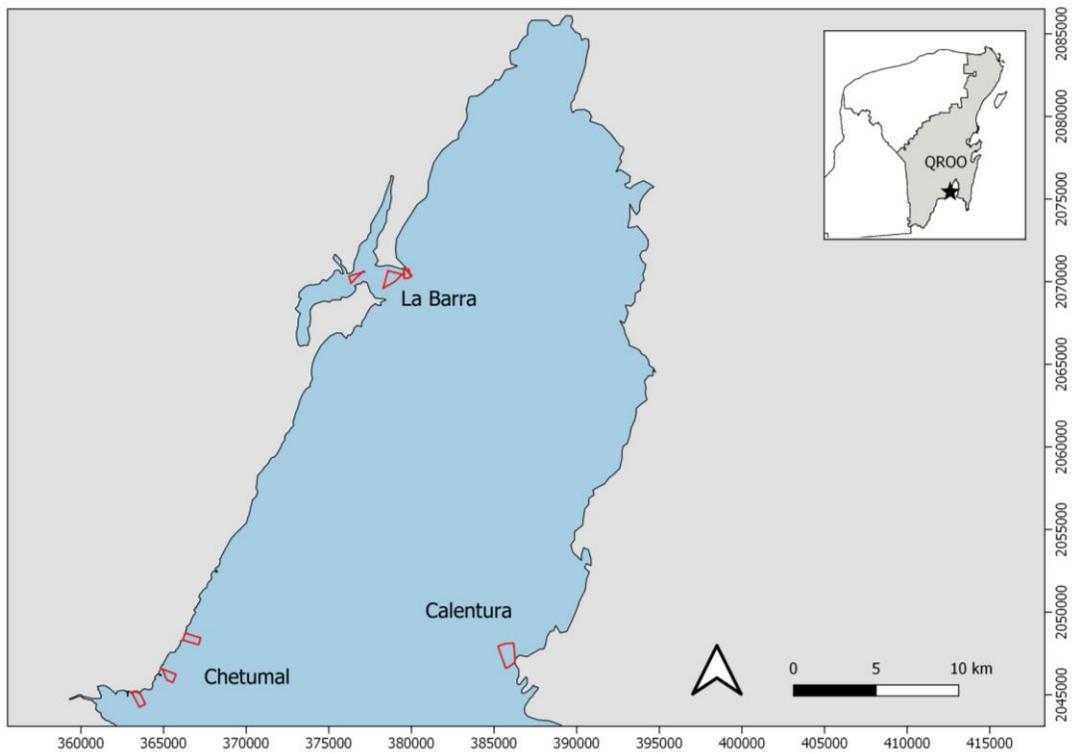


Figura 8. Vuelos de detección realizados en Santuario del Manatí.
En rojo, los trayectos de vuelo

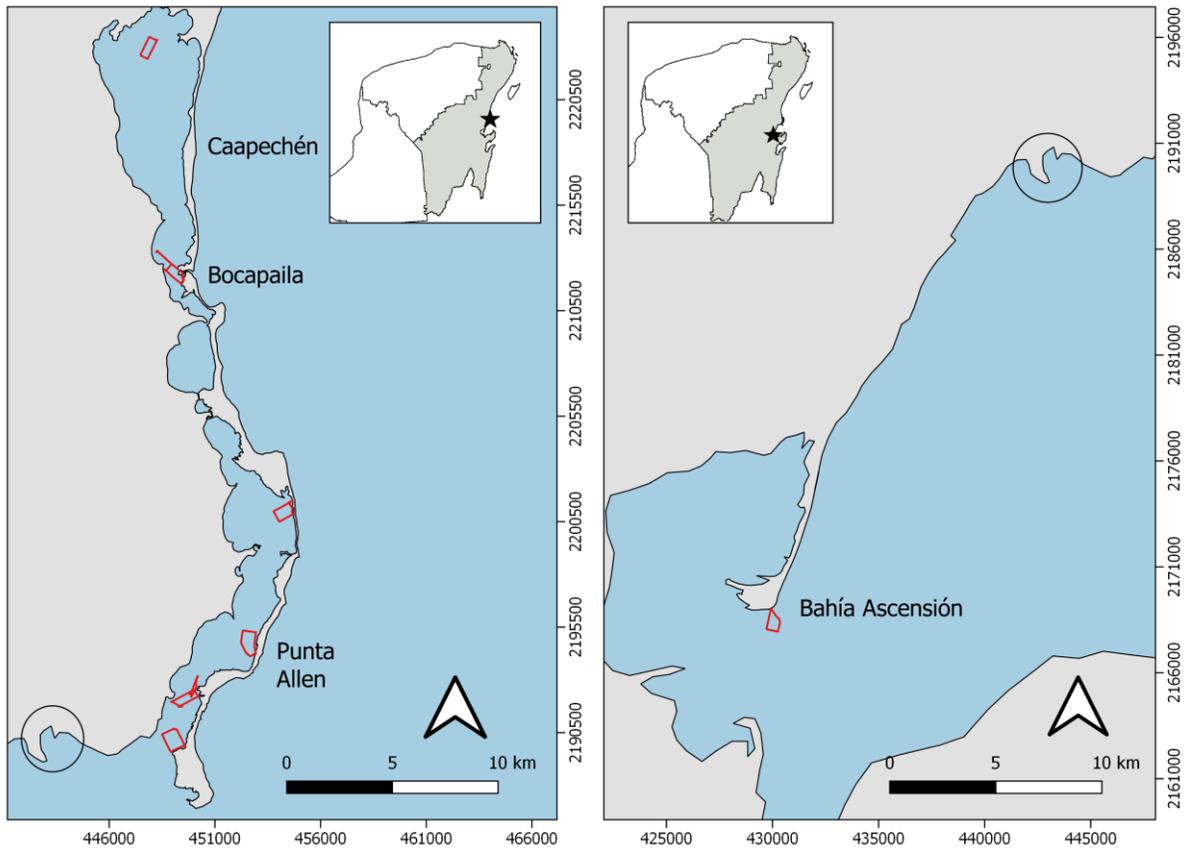


Figura 9. Vuelos de detección realizados en la RB Sian Ka'an.

En rojo, los trayectos de vuelo. En el círculo, mismo punto de referencia en ambas imágenes que componen la figura.

Para ilustrar los niveles de las variables registradas durante los sobrevuelos de detección de manatíes en vida libre se usó el mismo método empleado para clasificar las imágenes obtenidas de pruebas en cautiverio. Durante los sobrevuelos se registraron todos los niveles de turbidez y brillo solar. Los niveles de brillo solar pueden consultarse en la Figura 10, los niveles de turbidez en la Figura 11 y el resumen de condiciones ambientales predominantes durante sobrevuelos de detección en la Tabla 10.

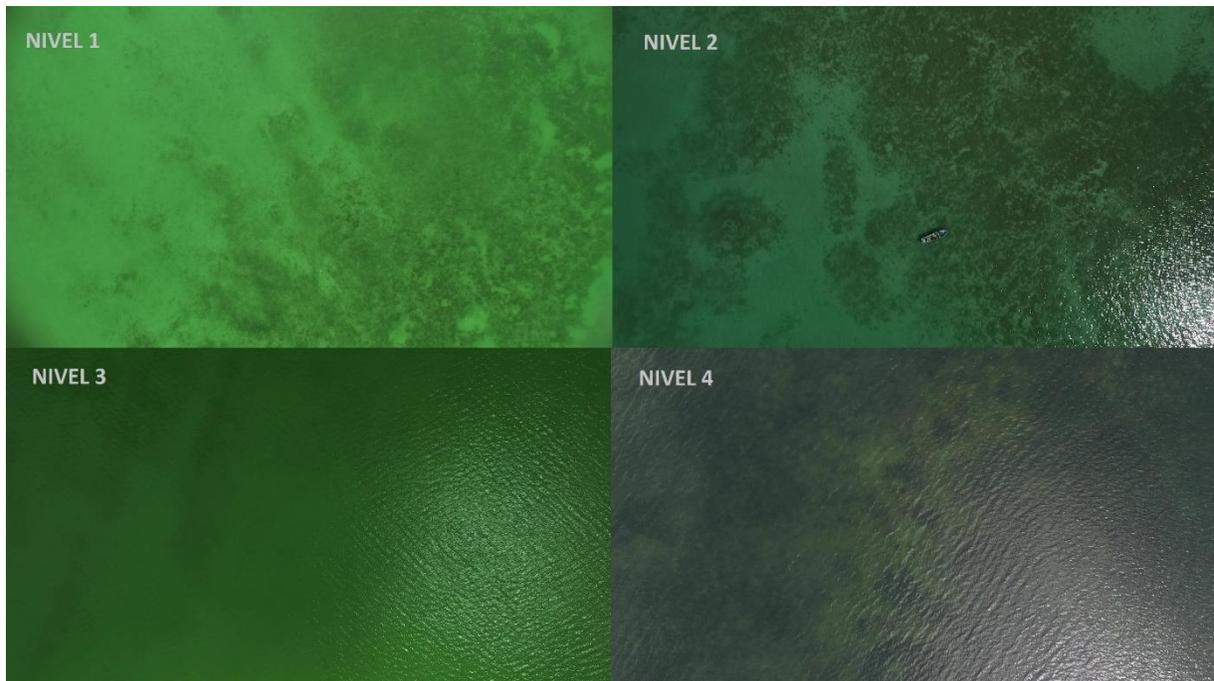


Figura 10. Ejemplos de niveles de reflejo solar registrados durante sobrevuelos de detección.
 El nivel de reflejo solar se expresa como el porcentaje de la imagen cubierta por reflejo. Nivel 1 (0%), nivel 2 (<25%), nivel 3 (25 - 50%), nivel 4 (> 50%).

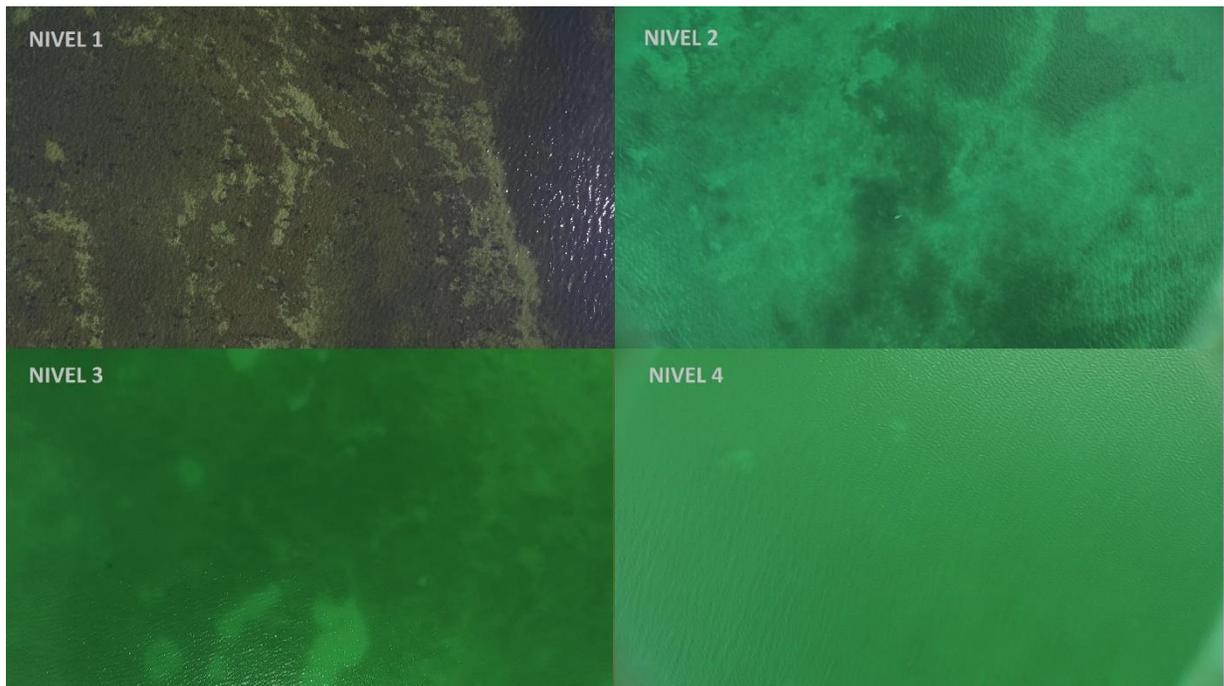


Figura 11. Ejemplos de niveles de turbidez registrados durante sobrevuelos de detección.
 El nivel de turbidez se expresa en términos de visibilidad de fondo. Nivel 1 (el fondo y los objetos presentes allí se observan nítidos), nivel 2 (el fondo y los objetos presentes allí se ven borrosos pero diferenciables), nivel 3 (no se diferencian objetos en el fondo, pero son visibles como manchas o contrastes), nivel 4 (la mayor parte del fondo no es visible).

Tabla 10. Características ambientales registradas durante sobrevuelos de detección de manatíes en las áreas de APFF Yum Balam, Santuario del Manatí y RB Sian Ka'an.

Area	Subárea	Hora	Beaufort	Bóveda celeste*	Nivel de brillo	Nivel de Turbidez	Fondo Predominante
APFF Yum Balam	Chiquilá	7:55-9:03	1	D	1-3	1	Vegetación
	Estero	9:37-10:35	1	S	2-4	3-4	No visible
	Holbox	17:16-17:27	1	S	1	2-3	Arena y vegetación
Santuario del Manatí	La Barra	10:09-11:51	1	S	1-4	1-3	Arena y piedras
	Calentura	13:09-13:24	1	S	3-4	1-3	Arena y piedras
	Chetumal	8:22-10:37	1	S	1-4	1-4	No distinguible
RB Sian Ka'an	Caapechén Bocapaila	8:41-10:52	1	D	1-4	2-4	Arena y Sedimento
	Punta Allen	8:26-9:08	1	D	1-2	1-3	Arena y vegetación
	Vigía Grande	10:44-11:02	1	D	2-3	2-3	Arena y Vegetación
	Punta Allen	9:07 -13:45	1	S	1-4	1-4	Arena y Vegetación

*Bóveda celeste (D= despejado, S= semicubierto)

Para las detecciones logradas (anexo 13.5), los niveles de turbidez (T) y brillo (B) registrados fueron: Punta Allen (T=2, B=1), Caapechén y Bocapaila (T=4, B=2) y La Barra (T=3, B=2).

7.4. DISCUSIÓN

Hay que tener en cuenta que los manatíes son tímidos y sigilosos (Bonde et al. 2004), exhibiendo pocos comportamientos en la superficie del agua, lo que dificulta su observación en vida libre. Considerando que generalmente los manatíes prefieren zonas someras (Castelblanco-Martínez et al. 2015), y que sus hábitats en el Caribe presentan áreas de gran transparencia, podemos razonablemente pensar que las posibilidades de detección se incrementan al usar plataformas aéreas como los drones.

El uso de transectos es uno de los métodos comunes usando drones para detectar mamíferos marinos (ej. Koski et al. 2009, Hodgson et al. 2013, Hodgson et al. 2017). Empleando este método y respetando el límite de altura de vuelo establecido en México (122 m) por las autoridades de aviación (DGAC 2017), se logró cubrir un ancho de banda amplio manteniendo resolución suficiente para la detección de manatíes. El uso de video para registro de información permitió optimizar el corto tiempo de vuelo disponible (~ 15 min), con la facilidad de detectar movimiento. Considerando que un video produce más cuadros por segundo que imágenes fijas, Hodgson et al. (2010) anotaron algunas ventajas de su uso, como incrementar la probabilidad de registrar animales en superficie, proveer información sobre los movimientos de los animales, e incrementar la posibilidad de registrar animales fuera de la zona de brillo

solar. Los parámetros de vuelo empleados durante los vuelos de detección (elevación, velocidad y tiempo de vuelo, distancia y área cubierta) caen dentro de los valores observados en otros monitoreos de vida marina mediante drones (Colefax et al. 2017).

Respecto a los resultados, el Santuario del Manatí (SM) y la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an (RBSK) son zonas reportadas como áreas de importancia para la población de manatíes en el Caribe Mexicano (Morales-Vela y Olivera-Gómez 1997). Esperábamos en consecuencia lograr la detección de individuos en estas áreas. En el caso de APFF Yum Balam, para la cual no se logró ninguna detección, Ávila-Canto et al. (2017), reportaron recientemente avistamientos de la especie, pero no hay registros de que las abundancias sean tan altas como en el SM y la RBSK. Aunque las abundancias relativas encontradas para las ANP evaluadas guardan lógica, hay que tomar en cuenta que estas áreas difieren altamente en extensión. El esfuerzo de muestreo (APFFYB= 2.44 Km², RBSK= 3.56 km², SM= 3.03 km²) no fue extenso ni cubrió las mismas proporciones de área. Los resultados obtenidos, aunque ilustrativos, deberían tomarse con precaución y como una verificación de la utilidad del método más que como una medida para extrapolación de abundancia a estas áreas. Son necesarios mayores esfuerzos de muestreo si es que se quiere obtener abundancias relativas confiables para cada una de estas zonas, lo que podría realizarse, por ejemplo, teniendo una red de operadores y drones que sobrevuelen una mayor porción de las zonas de estudio, o combinando búsquedas mediante navegación y sobrevuelos con drones. Debido a las limitaciones de duración de batería, no es posible proponer este método como un reemplazo para los sobrevuelos tripulados en cuanto a la obtención de censos poblacionales.

Debido a las diferentes horas de evaluación incluidas fueron observados todos los niveles de brillo solar (1-4) en los videos obtenidos. Aunque el registro mediante video permite atenuar los efectos del brillo (Hodgson et al. 2010), este no es el caso con turbidez. Los sobrevuelos de detección registraron gran variabilidad de niveles de turbidez (1-4) en las áreas de estudio (SFFYB, RBSK, SM) y entre subáreas dentro de la misma área. Esto también evidencia la variabilidad de las áreas que habita el manatí en el Caribe (incluso dentro de las bahías y lagunas costeras evaluadas) y las dificultades asociadas al monitoreo de estas. Por ejemplo, se observaron zonas de mayor turbidez asociadas a afluentes y ojos de agua. Se sabe que las fuentes de agua dulce son un factor determinante para la presencia de manatíes (Castelblanco-Martínez et al. 2013), por lo que individuos presentes podrían no ser detectados en estas zonas debido a la turbidez. Por lo mismo, es imposible asumir probabilidades de detección homogéneas en las áreas que evaluamos, pero podrían incrementarse los esfuerzos de búsqueda en áreas de menor visibilidad.

La turbidez como variable afectando la disponibilidad de individuos en monitoreos de sirenios ha sido considerada por algunos autores (Marsh y Sinclair 1989, Pollock et al. 2006, Edwards et al. 2007) en el cálculo de probabilidades de detección permitiendo obtener factores de corrección para estimaciones poblacionales. Por ejemplo, Pollock et al. (2006) calcularon las probabilidades de detección para dugones considerando la variabilidad de su área de estudio en términos de visibilidad de fondo, profundidad y estado de superficie del mar. Es posible hacer una equivalencia entre algunas combinaciones de variables usadas por Pollock et al. (2006) y las empleadas en este estudio para aplicar las probabilidades de detección calculadas por estos autores a nuestros avistamientos (Tablas 11 y 12). Sin embargo, no se recomienda usar estas probabilidades en la estimación de abundancias debido al sesgo asociado a ausencias (Lefebvre et al. 1995). Este sesgo se compensa con muestreos proporcionales a densidades y distribuciones conocidas, pero no se cuenta con este tipo de información actualizada para nuestras áreas de estudio. Sin embargo, es importante reportar las condiciones de turbidez (y por

lo tanto disponibilidad) en que se dan los avistamientos y considerar aplicar mayores esfuerzos de muestreo en áreas más turbias.

Tabla 11. Adaptación de probabilidades de detección de dugones de Pollock et al (2006) para estado óptimo de mar y diferentes condiciones de visibilidad respecto a los niveles de turbidez propuestos en este estudio

Pollock et al. (2006)				Este estudio
Calidad de agua	Rango de profundidad	Visibilidad de Fondo	Probabilidad de detección (SE)	Nivel de turbidez
Transparente	Somera	Claramente visible	1	1, 2
Variable	Variable	Visible pero poco claro	0.65 (0.0452)	3
Turbia	Variable	no visible	0.47 (0.0525)	4
Transparente	> 5 m	no visible	0.46 (0.057)	No aplica

Tabla 12. Cálculo de abundancias con base en probabilidades de detección de Pollock et al (2006).

Area	Manatíes detectados	Nivel de turbidez	Probabilidad de detección	Abundancia
Punta Allen (RBSK)	1	2	1	1
Caapechén (RBSK)	1	4	0.47	2.1
La Barra (SM)	2	3	0.65	3.1

En cuanto a la altura de vuelo, que guarda relación con la resolución de imágenes obtenidas, Hodgson et al. (2013) detectaron dugones a una resolución de 3 cm/pix (asumiendo que si un dugongo mide 2.5 m esto equivaldría a 83 píxeles, siendo una resolución suficiente para identificar la especie), mientras que en nuestro caso, y para 100 m de altura de vuelo, se calculó una resolución de 4 cm/px para imágenes extraídas (3840 x 2160 pix) de los videos registrados, o 5.7 cm/pix asumiendo el formato original del video (2704 x 1520 pix). Si consideramos que un manatí mide 2.5 m, esto equivaldría a 62 y 44 píxeles respectivamente. Nuestros resultados demuestran que esta resolución es suficiente para detectar la especie. Como referencia, Koski et al. (2009) anotaron que en video son detectables objetos mayores a 5 píxeles.

En el caso de drones multicóptero, el viento tiene capacidad de desestabilizar el vuelo y comprometer la calidad de la imagen debido al error de enfoque y resolución asociado al movimiento de cámara (Goebel et al. 2015). Durante nuestros sobrevuelos de detección en vida libre no se observaron niveles de Beaufort mayores a uno, por lo que se descartaron sus efectos, pero debería tomarse en cuenta un Beaufort =2 como límite para realizar detecciones de especies sigilosas (Koski et al. 2009), como en el caso de los manatíes antillanos.

No se observaron reacciones por parte de los manatíes detectados durante nuestros vuelos a 100 m de altura. Se ha encontrado evidencia de que la altura de vuelo tiene efecto sobre el comportamiento de manatíes (Ramos et al. 2017b; Ramos et al. 2018). Sin embargo, ni Jones et al. (2006) ni Hodgson et al. (2013) reportaron reacciones por parte de manatíes de Florida y dugones, respectivamente, durante sus sobrevuelos de drones por encima de 100 m. De lo anterior, podría proponerse una altura de vuelo de 100 m como altura de bajo impacto para los sobrevuelos de detección de sirenios.

El dron empleado en este estudio (DJI Phantom 3A), ha sido usado por Adame et al. (2017) en detección, conteo y clasificación etaria de lobos marinos californianos. Una versión anterior (Phantom 2) fue empleado por Domínguez-Sánchez et al. (2018) en la toma de muestras biológicas de soplo de ballenas azules. Finalmente, una versión reciente (Phantom 4) fue utilizada por Torres et al. (2018) en el registro de comportamiento de ballena gris. Lo anterior evidencia la plasticidad y utilidad del modelo, que por ser de tipo multicóptero tiene gran estabilidad de vuelo, así como capacidad de despegue y aterrizaje en espacios reducidos (Fiori et al. 2017). Al tratarse de un dron comercial, es de precio relativamente bajo y de fácil operación. También es posible encontrar fácilmente soporte para sus usuarios, tutoriales, foros y recomendaciones de uso. Aunque en general drones pequeños vuelan menos tiempo, a menor velocidad y cubriendo menos área comparados con vuelos tripulados, son ventajosos respecto a los últimos en términos de seguridad, precisión y versatilidad, siendo una buena alternativa para implementar monitoreos continuos en áreas de escala limitada (Colefax et al. 2017). Además, formar una red de operadores podría incrementar la extensión de las áreas monitoreadas.

Finalmente, aunque nuestras pruebas de detección se orientaron hacia el conteo de manatíes, lograr la detección de manatíes en vida libre mediante drones abre posibilidades no sólo para estimaciones de abundancia en áreas limitadas, sino que, por ejemplo, facilitaría la captura de animales con fines de investigación y mejoraría el seguimiento que se hace de individuos radiomarcados (permitiendo registros visuales de comportamiento, socializaciones, etc). Los otros objetivos de esta tesis, orientados a evaluar la aplicabilidad de drones en el registro de comportamiento (sección 8) y obtención de imágenes para foto-identificación (sección 9) también se apoyan en la detección previa.

7.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible detectar manatíes en vida libre usando drones multirrotor livianos y siguiendo la metodología presentada. La variable ambiental con mayor efecto sobre la detección es la turbidez, cuyos niveles deben reportarse entre los resultados como indicativo de la detectabilidad de los animales en el medio. Asimismo, deben tomarse medidas para reducir los niveles de brillo solar en el registro de videos y no descartar los posibles efectos de variables como la fuerza del viento.

8. USO DE DRONES PARA REGISTRO DE COMPORTAMIENTO EN ESTUDIO CASO: INTERACCIÓN ENTRE MANATÍES Y EMBARCACIONES TURÍSTICAS EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SIAN KA'AN

8.1. ANTECEDENTES

8.1.1. INTERACCIONES MANATÍ – EMBARCACIÓN

Existen varios estudios que se enfocan en las interacciones entre botes y manatíes, así como en los riesgos de colisión asociados a las mismas (ej. Nowacek et al. 2004, Edwards et al. 2016, Rycyk et al. 2018). La presencia de embarcaciones influye sobre el uso de espacio de los manatíes, que en general evitan las zonas con botes (Buckingham et al., 1999). Ante el acercamiento de embarcaciones, se ha observado que los manatíes incrementan su velocidad de nado y se desplazan hacia zonas más profundas (Nowacek et al. 2004, Rycyk et al. 2018), aunque en el caso de alcanzar o encontrarse en zonas de suficiente profundidad, la reacción de huida puede no ocurrir (Hartman 1979).

Botes que se desplazan a mayor velocidad representan un mayor riesgo de colisión para los manatíes que botes desplazándose a menores velocidades, debido a que los animales tienen menos tiempo para reaccionar y evitar las embarcaciones (Rycyk et al. 2018). En consecuencia, en zonas de alta densidad de

manatíes como Florida, se han establecido limitaciones a los niveles de velocidad de embarcaciones en áreas de manatí incluyendo *idle* (3-5 km/hr) y *slow* (lento, 8-11 km/hr, FWC 2012). Sin embargo, la velocidad de las embarcaciones no es un factor que influye sobre las respuestas de los manatíes, como si lo es la distancia a la embarcación (Nowacek et al. 2004), observándose que la mayor cantidad de reacciones ocurren a menos de 10 metros (Rycyk et al. 2018). Las limitaciones en la velocidad de los botes otorgarían mayores tiempos de reacción tanto para manatíes como para operadores de bote, reduciendo la severidad del daño en caso de colisión (Calleson y Frohlich 2007).

Nowacek et al. (2004) encontraron que el tipo de hábitat influye sobre las reacciones de los manatíes ante embarcaciones, debido a las diferencias de propagación del sonido, que en zonas someras es más pobre, dificultando la localización del bote. El ruido producido por embarcaciones abarca un amplio rango de frecuencias (10 Hz- 20 kHz, Gerstein 2002), siendo más ruidosas las embarcaciones desplazándose a mayor velocidad (Mann et al. 2009). Potencialmente, el ruido generado por embarcaciones en la misma frecuencia de vocalización de manatíes, podría enmascarar e interferir con la comunicación entre individuos (Miksis-Olds et al. 2007b). Por otra parte, el nivel de ruido influye en la selección de hábitat de los manatíes, quienes prefieren parches de vegetación con menor ruido ambiental, en frecuencias bajo 1kHz (Miksis-Olds et al. 2007a).

8.1.2. RELACIÓN DEL TURISMO CON EL MANATÍ ANTILLANO EN EL CARIBE MEXICANO

El desarrollo de las poblaciones humanas ha afectado la distribución y abundancia del manatí antillano en el Caribe Mexicano (Colmenero-Rolón 1991, Diaz Ortiz et al. 2014), pudiendo considerarse de importancia los efectos del crecimiento turístico en esta zona durante los últimos años (Padilla 2015). Por ejemplo, Morales-Vela y Olivera-Gómez (1997) sugirieron posibles efectos del incremento de la actividad turística en conducta y hábitat de manatíes en el norte de Quintana Roo, lo que fue sustentado por las observaciones realizadas por Diaz Ortiz et al. (2014) en la misma zona años después. El crecimiento turístico se expresa como incremento de afluencia humana en caletas y zonas de uso de manatíes, pero también en el incremento del tráfico de botes. En el país vecino de Belice, las colisiones con botes son la principal causa de muerte de manatíes (Castelblanco-Martínez et al. 2018), por lo que es preocupante el incremento en número de embarcaciones en Quintana Roo.

Por otra parte, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) tiene interés en desarrollar un turismo sostenible dentro de áreas naturales protegidas como medida de desarrollo de las poblaciones cercanas y para promover la conservación de la biodiversidad. En este contexto se presentó recientemente una Estrategia Nacional para el Desarrollo Sustentable del Turismo en Áreas Protegidas (CONANP 2016). En México, es poco lo que se conoce sobre el turismo de observación de manatí antillano, pero se sabe que en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (RBSK) se ofrecen recorridos turísticos de avistamiento de fauna que lo incluyen. Aún no existen normas oficiales que regulen el avistamiento turístico de mamíferos acuáticos en el Caribe Mexicano, y se desconoce mucho sobre cómo se llevan a cabo estas actividades. Es importante comenzar a recopilar información al respecto, y evaluar si los animales están siendo afectados. Considerando esto, se decidió obtener información sobre las actividades turísticas enfocadas a manatí en la RBSK y probar drones livianos como herramienta de registro de comportamiento de botes y manatíes durante las interacciones debidas al turismo.

8.1.3. USO DE DRONES EN REGISTRO DE COMPORTAMIENTO

Aunque se asume que el potencial de los drones para el registro de comportamiento es alto, es necesario contar con una prueba cuantitativa de su utilidad en este sentido (Torres et al. 2018). Muchas investigaciones empleando drones incluyen observaciones de comportamiento anecdóticas, sobre todo relacionadas con reacciones al dron (ej. Sweeney et al. 2015, Adame et al. 2017), e incluso algunas se han enfocado al efecto de drones sobre el comportamiento (ej. Pomeroy et al. 2015, Arona et al. 2018, Domínguez-Sánchez et al. 2018, Ramos et al. 2018). Ciertamente evaluar el efecto de los drones sobre las especies evaluadas constituye el primer paso antes de explorar los alcances de los drones como plataforma de registro de comportamiento. En esta línea y en el caso de mamíferos marinos, sólo se tiene el estudio de Torres et al. (2018), quienes demostraron que se logra tres veces más capacidad observacional empleando drones en lugar de embarcaciones para registro de comportamiento de ballenas grises, y registrando con el dron comportamientos no documentados antes.

8.2. MÉTODOS

La colecta de información respecto a la interacción entre manatíes y embarcaciones turísticas se realizó en la Reserva de Biósfera de Sian Ka'an. En la RBSK se han conformado nueve cooperativas turísticas integradas en su mayoría por pescadores y ejidatarios mayas, que hacen recorridos de observación de fauna terrestre y marina, kayakismo y pesca deportiva (CONANP 2013). Se seleccionó el sistema de lagunas y canales de Caapechén y Bocapaila como área de estudio, ya que en esta zona se desarrollan actividades turísticas de avistamiento de manatíes.

Se usaron entrevistas y sobrevuelos con dron como herramientas complementarias para obtener información. Las entrevistas (anexo 13.6) se elaboraron usando las recomendaciones de Ortega-Argueta et al. (2012) y fueron desarrolladas teniendo como grupo objetivo a los operadores turísticos que realizan actividades de avistamiento de los manatíes. El objetivo fue obtener datos sobre las zonas donde los manatíes son comúnmente avistados y sobre la observación turística realizada. Información adicional no incluida en las entrevistas fue colectada como parte de estas conversaciones.

El material colectado en las encuestas fue usado para estimar la cantidad de manatíes en la zona y ubicar las áreas y épocas en que el avistamiento es más frecuente. Con la finalidad de registrar el comportamiento de los manatíes ante la presencia de botes y coleccionar información sobre los procedimientos de avistamiento se realizaron tantos sobrevuelos como posible (n=8) sobre dos puntos fijos (ojos de agua). Se seleccionaron ojos de agua que son visitados durante los recorridos turísticos y donde, según las encuestas, se avistan frecuentemente animales. Los vuelos se realizaron lanzando el dron desde la orilla o desde el mismo bote que es registrado en la interacción. Desde tierra, los vuelos se efectuaron en horas en las que se esperaba encontrar tanto embarcaciones como manatíes en los puntos. Se mantuvo el dron sobre los puntos fijos tanto tiempo como la batería lo permitiese, variando la posición y altura para lograr la mejor visibilidad de embarcaciones y manatíes presentes.

Los videos aéreos obtenidos se revisaron para determinar cuáles cumplían con las mejores condiciones para el registro de comportamiento e interacciones. Se consideró que la altura de registro fuera adecuada para observar los eventos de respiración de los manatíes y que a la vez cubriera la mayor superficie posible durante la interacción. Estos videos se seleccionaron para su análisis a detalle. Se usó el software ImageJ 1.51k (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA), para calcular las distancias entre embarcaciones y manatíes y la velocidad de embarcaciones. Para el análisis de comportamiento, se revisaron los videos y mediante registro *ad Libitum* se seleccionaron las categorías de comportamiento o estados que era posible observar en los videos. Mediante registro continuo focal se

determinaron los porcentajes de tiempo invertidos en comportamientos diferentes y se contaron el número de respiraciones para obtener la frecuencia respiratoria.

8.3. RESULTADOS

8.3.1. ENTREVISTAS

En la zona de lagunas de Caapechén, Boca Paila y canales asociados, la observación turística de manatíes es realizada mayormente por la cooperativa Caapechén, y de modo indirecto por la cooperativa Nativos, cuya actividad principal es el transporte de pasajeros desde la zona de Caapechén hasta Punta Allen. Nos fue comentado que la cooperativa Muyil también tiene permiso de realizar actividades turísticas en la zona, pero no es frecuente. Operadores privados como Diamante Maya y Víctor's Fly Fishing también realizan recorridos de observación de fauna eventualmente. De nuestras observaciones y conversaciones con los operadores turísticos se estima que en la zona al menos 8 embarcaciones se usan en avistamiento de manatíes, entre otras actividades (como pesca deportiva y transporte de pasajeros).

Se completaron 10 entrevistas durante los días 16, 18 y 20 de octubre 2017. Los integrantes de la cooperativa Caapechén cuentan con 8 miembros activos, de los cuales fueron entrevistados 5. Se visitó la cooperativa Nativos en Punta Allen, pero sólo 2 personas quisieron responder la encuesta, el resto se negó argumentando que sus respuestas no serían distintas a la de sus compañeros. La empresa Diamante Maya cuenta con dos capitanes para actividades turísticas, lográndose entrevistar a uno de ellos. También se entrevistó al capitán de la empresa Víctor's Fly Fishing que realiza actividades en Boca Paila, Caapechén y canales asociados, y al dueño de la empresa, que trabaja principalmente en Bahía Ascensión.

Las edades de los entrevistados variaron de 23 a 71 años, y los años de trabajo en la zona de 0.5 a 47 años (23.5 + DS 16.4 años). Todos los encuestados coincidieron en que los ojos de agua de las lagunas Boca Paila y Caapechén son los principales lugares en que se avistan manatíes. Respuestas más específicas incluyen: el ojo de agua frente al puente Boca Paila y el ojo de agua en Caapechén cerca al templo Maya. La mayoría de encuestados calcula que en la zona habitan entre 11 y 20 manatíes, y considera que en los últimos cinco años se ha incrementado el número de manatíes. Durante los recorridos de avistamiento, los entrevistados mencionaron que generalmente se pueden observar al menos dos animales, pero no hubo consenso respecto a la época en que se avistan más animales o hembras con crías. Como factores que pueden dificultar su trabajo en cuanto al avistamiento de manatíes, los encuestados mencionaron principalmente al clima, sobre todo las lluvias y turbidez del agua causada por estas.

En cuanto a las actividades de avistamiento turístico, no hay consenso sobre la distancia a la que se realizan los avistamientos, pero todos los encuestados relataron que para realizar la observación de manatíes apagan los motores de la embarcación al llegar a los ojos de agua (algunos encuestados mencionaron que apagan el motor y se anclan, uno relató que deja que el viento empuje la lancha). En estas circunstancias, la mayoría de encuestados anotó que los animales son indiferentes. Las gráficas resumen las respuestas de los encuestados en la Figura 12.

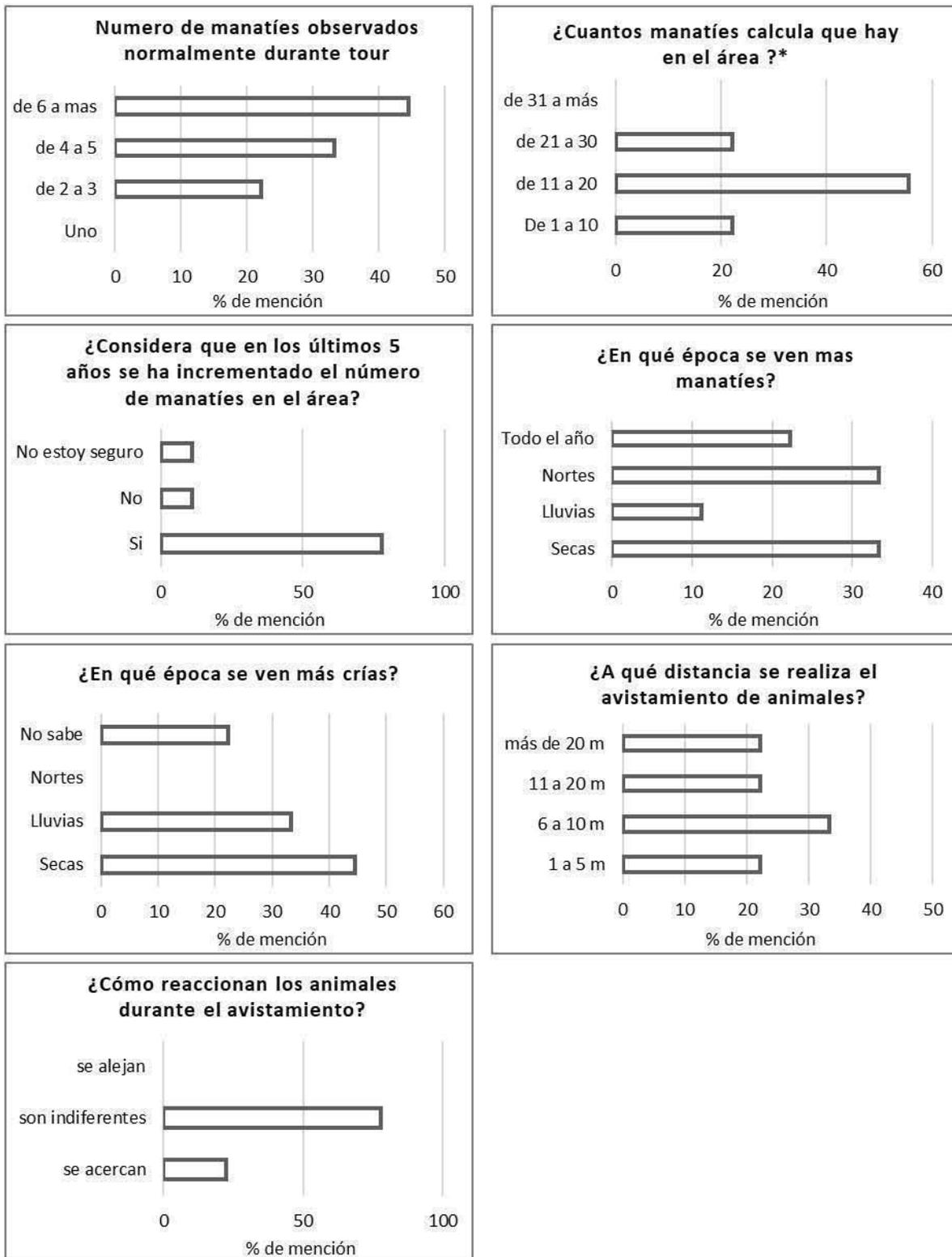


Figura 12. Respuestas de operadores turísticos entrevistados en la RB Sian Ka'an.

8.3.2. REGISTRO DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE DRONES

Se registraron 57 minutos de video provenientes de 8 sobrevuelos durante los días 16, 17, 19 y 20 de octubre 2017 en las lagunas Caapechén y BocaPaila, específicamente en 2 ojos de agua que son visitados comúnmente por los operadores turísticos (coordenadas N 20°6'22.68", O 87°29'41.64" y N 20°0'27.72", O 87°29'26.879"). En los videos aéreos se registraron dos tipos de avistamiento turístico: con el bote estacionario y con el bote en movimiento. En la Tabla 13 puede consultarse el resumen de información registrada para los dos ojos de agua. Los dos primeros videos y los tres últimos corresponden a grabaciones seguidas y por lo tanto registran los mismos individuos. Imágenes de los animales observados pueden revisarse en el anexo 13.7.

Tabla 13. Resumen de información de videos de recopilados con el fin de registrar interacciones manatí- embarcación en la RB Sian Ka'an

N	Fecha	Hora	Lugar*	Duración**	Botes	Manatíes	Tipo de avistamiento	Altura (m)
1	16/10/17	08:41	Caapechen	04:26	1	2	Bote estacionario	100 – 28
2	16/10/17	09:12	Caapechen	05:50	1	2	Bote estacionario	30 -18
3	16/10/17	10:13	Boca Paila	00:24	3°	0	Bote en movimiento	101 -100
4	17/10/17	09:47	Boca Paila	12:19	2	3	Bote en movimiento	72 -61
5	19/10/17	16:53	Boca Paila	07:44	0	4	Sin bote	100 -38
6	20/10/17	09:45	Caapechen	05:17	1	2	Bote estacionario	91 -65
7	20/10/17	10:20	Caapechen	07:58	1	3	Bote estacionario	41 -40
8	20/10/17	10:39	Caapechen	13:09	1	3	Bote estacionario	44 -19

**Duración de la grabación total en el que pueden registrarse animales, botes e interacciones.

*Caapechén corresponde al ojo de agua situado en N 20°6'22.68", O 87°29'41.64" y Boca Paila al ojo de agua situado en N 20°0'27.72", O 87°29'26.879".

° En el video se observan 3 botes y ningún manatí, pero al llegar a la zona se avistó un animal y contaron 5 botes.

De los 8 videos grabados, se analizaron más a detalle los videos 4 y 7 (Figura 13), que corresponden a los métodos de avistamiento con el bote estacionario y bote en movimiento. En ellos se registraron tiempos de interacción altos (respecto al resto de videos) y se cumplieron los criterios de selección mencionados en la sección métodos (8.2). En este sentido, entre 70 y 40 metros de altura de vuelo se observaron claramente eventos de respiración y se abarcó un área tal que se logró mantener a los objetos de estudio dentro del marco del video la mayor parte del tiempo. Además, los animales registrados en el video pudieron ser diferenciados uno del otro por su tamaño y posiciones.

Durante el avistamiento de manatíes con bote en movimiento (video 4), las embarcaciones buscaron acercarse a los individuos que avistaban. En este proceso una de las embarcaciones pasó prácticamente sobre uno de los individuos (Figura 14). Se observaron cambios de dirección en el desplazamiento por parte de los manatíes y respiraciones consecutivas en lapsos de menos de un minuto. Durante el avistamiento con bote estacionario (video 7) los manatíes sólo fueron visibles cuando emergían para respirar (debido a la turbidez), lo que ocurrió siempre en la misma posición respecto al bote. No se observó a los manatíes abandonar la zona (ojo de agua y alrededores) bajo ninguno de los dos tipos de avistamiento turístico. Sin embargo, hacia el final del registro con bote en movimiento, tras 9 minutos de observación, uno de los 3 individuos observados dejó la zona.



Figura 13. A la izquierda, imagen extraída de video 4 (botes en movimiento en Boca Paila), a la derecha, imagen extraída de video 7 (bote fijo en Caapechén).

Una referencia del desplazamiento y posición relativa de animales y botes para el caso de avistamiento desde bote en movimiento puede revisarse en la Figura 14. No se pudo realizar una gráfica similar para el caso de avistamiento con bote estacionario, debido a que los animales permanecieron fuera de vista durante la mayor parte del video por las condiciones de turbidez del agua. Para contrastar ambos métodos de avistamiento, se obtuvieron frecuencias respiratorias, distancias entre embarcaciones y animales, y velocidad de embarcaciones (Tabla 14).

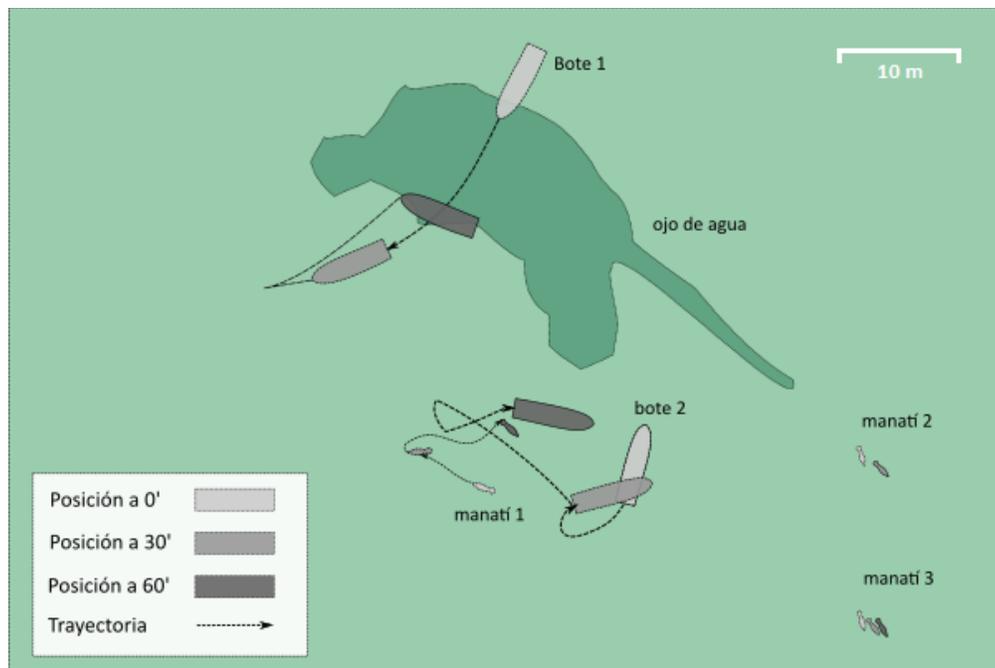


Figura 14. Trayectoria de desplazamiento de embarcaciones (N=2) y manatíes (N=3) durante interacción no estacionaria registrada en video 4 (minuto 7:00 – 8:00), ojo de agua (N 20°0'27.72", O 87°29'26.879"), Laguna Bocapaila.

Tabla 14. Contraste de variables entre avistamiento con bote estacionario y bote en movimiento

Avistamiento	Distancia Mínima **	Distancia Respiración**	Frecuencia Respiratoria*	Velocidad máx. Embarcación
Bote estacionario	8.38 m	8.38 m	0.40 ± 0.09	-
Bote en movimiento	0 m	2.75 m	0.49 ± 0.12	3.6 km/hr

** Distancia mínima registrada entre bote y manatí.

** Distancia mínima del bote a la que los animales salen a respirar

*Frecuencia respiratoria promedio de cada grupo de animales (n=3), expresada como respiraciones/minuto ± DS

Sólo fue posible registrar los estados de comportamiento: “desplazamiento” (el manatí o bote se desplaza avanzando, retrocediendo o girando), “estacionario” (el manatí o bote permanece en un mismo punto) y “fuera de vista” (el estado en que se encuentra manatí o bote no es visible), a partir del comportamiento observado en el video 4 (botes en movimiento). Los porcentajes de tiempo invertidos en estados de comportamiento pueden revisarse en la Figura 15. Debido a que la turbidez del agua en el video 7 (bote estacionario) impidió observar a los animales bajo la superficie, no se hizo el análisis de este video en cuanto a comportamiento.

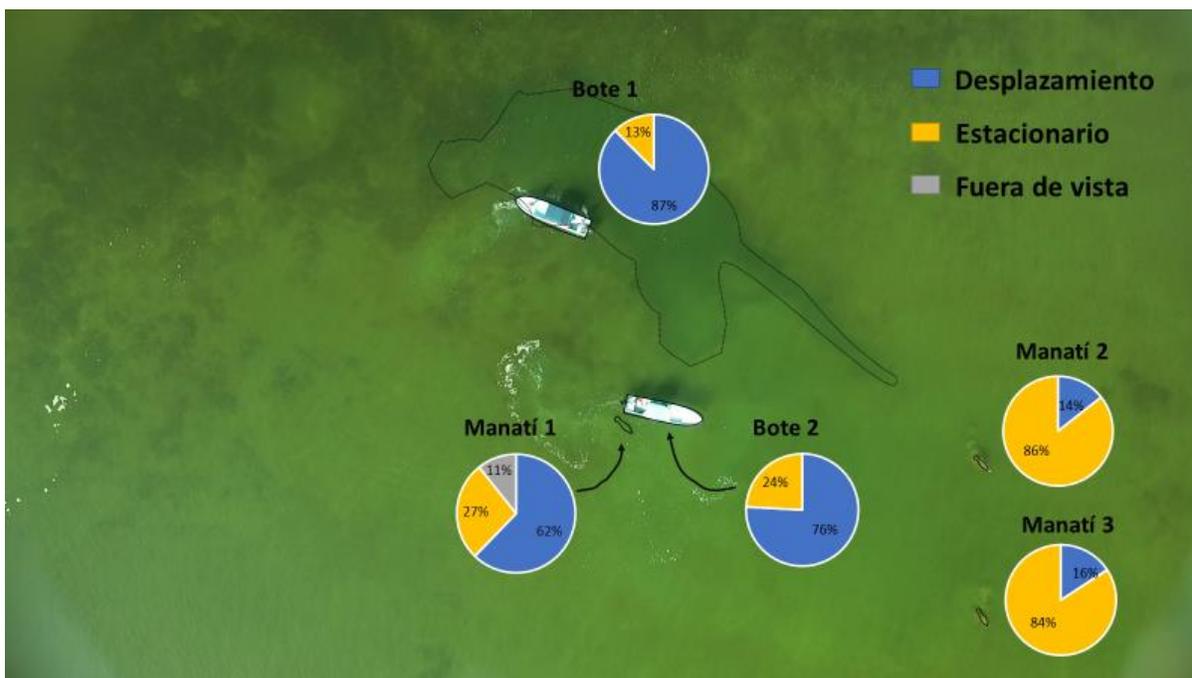


Figura 15. Estados de comportamiento exhibidos durante interacción bote – manatí , en avistamiento desde bote en movimiento (video 4).

Los estados de comportamiento registrados fueron desplazamiento (azul), estacionario (amarillo) y fuera de vista (gris).

8.4. DISCUSIÓN

Si se compara la información recopilada a través de los drones con la obtenida a través de las encuestas, verificamos que ninguno de los ojos de agua visitados presentó menos de dos individuos, y que los manatíes efectivamente parecen indiferentes en condiciones de avistamiento con bote estacionario. Aunque se registraron dos tipos de avistamiento, ha de remarcarse que los registros desde bote estacionario se tomaron cuando los operadores turísticos tenían conocimiento de que estábamos

observando (desde el bote y desde la orilla), por lo que podrían haber tomado más precauciones durante el desarrollo de sus actividades. Del mismo modo, hay que considerar que puede existir un sesgo en las respuestas de los entrevistados debido a la presencia del entrevistador. El registro más largo de avistamiento con bote en movimiento se tomó sin conocimiento previo de los operadores, y corresponde probablemente a la cooperativa que tiene como actividad principal el traslado entre Caapechén y Punta Allen, por la hora y el lugar en que fue tomado el video.

Durante el avistamiento con bote en movimiento se observaron respiraciones consecutivas en lapsos de menos de un minuto, lo que podría indicar que los animales están interrumpiendo su secuencia respiratoria por un disturbio (Hartman 1979). Pese a esto, los animales permanecieron en el área, lo que sugiere su importancia como fuente de agua dulce o refugio. Buckingham et al. 1999 tuvieron observaciones similares en manatíes de Florida que no abandonaron los refugios termales sin importar el número de botes presentes. Otra explicación para la permanencia de animales en el área es que la profundidad en la zona, debido al ojo de agua, haya sido suficiente como para desmerecer una reacción de huida ante las embarcaciones. De manera similar, Hartman (1979) observó que manatíes en zonas profundas (3 m) generalmente no exhiben comportamientos de huida ante embarcaciones.

En cuanto a las distancias de avistamiento, observaciones realizadas con el bote en movimiento no respetan una distancia mínima. Posiblemente las condiciones de turbidez dificultan que los operarios distingan a los animales que tienen cerca, incrementando el riesgo de colisión. La máxima velocidad estimada para las embarcaciones (3.6 km/hr) durante el avistamiento cae dentro de las velocidades mínimas (3-5 km/hr) establecidas en Florida para transitar en áreas de manatíes (FWC 2012), pero se observó como uno de los botes pasó sobre un individuo (figura 20). Aparentemente el manatí no resultó herido, probablemente por haber alcanzado una profundidad que le evitó ser golpeado. El que este manatí no cambiara de dirección para evitar el bote puede deberse a que como señala Gerstein (2002), los manatíes tienen dificultades para oír botes desplazándose lentamente, o a que al estar constantemente expuestos a los botes, los manatíes se han habituado a su presencia y son incapaces de discriminar cuál de los botes acercándose representa mayor riesgo (Nowacek et al. 2004). Otro factor a tomar en cuenta es que el ruido producido por el motor de las embarcaciones podría enmascarar e interferir con la comunicación entre manatíes (Miksis-Olds et al. 2007b), que es especialmente importante entre madres y crías. Basados en lo registrado, los avistamientos de manatíes desde un bote en movimiento conllevan el riesgo de disturbio acústico y daño por colisión. El avistamiento con bote estacionario sería recomendable al ser más seguro para los animales y probablemente porque causa menos estrés en los mismos. Sin embargo hay que tomar en cuenta que los manatíes generalmente evitan las zonas con botes (Buckingham et al., 1999) y prefieren parches de vegetación con menor ruido ambiental (Miksis-Olds et al. 2007a). Esto podría llevar a que los animales con el tiempo dejen de frecuentar los ojos de agua visitados por embarcaciones turísticas.

Hace falta coleccionar más información sobre la actividad de avistamiento turístico de manatíes en la RBSK, sobre todo en términos de intensidad de visita a los ojos de agua, velocidades de tránsito y número de embarcaciones operando simultáneamente. En una ocasión, se contaron 5 botes alrededor de un ojo de agua (Tabla 13). Para evitar el acoso y el tiempo que los manatíes pasan expuestos a las embarcaciones, podrían sugerirse opciones de manejo como las recomendadas por Buckingham et al. (1999), como limitar el número de botes en el área y prohibir actividades durante las mañanas o tardes. Frases recogidas durante las entrevistas como “con el ruido del motor se alejan, por perseguirlos” o “antes eran más curiosos, ahora tienen miedo” ilustran que algunos operadores turísticos son conscientes de que pueden afectar a los animales. Todos los entrevistados mencionaron que al realizar avistamientos desde

el bote con motor apagado los animales no se alejan, realizando afirmaciones tales como “son curiosos y se acercan” o “agarran confianza a los 25 minutos”. Lo último también demuestra que existe el conocimiento de cómo realizar mejores avistamientos, lo que facilitaría a los operadores turísticos aportar en la mejora de lineamientos para el avistamiento de fauna en la RB Sian Ka’an. Aunque en el área no existen regulaciones para el avistamiento de fauna marina, recientemente y también basados en nuestros resultados, un protocolo conteniendo lineamientos para avistamiento de fauna marina se encuentra en revisión para la RB Sian Ka’an. Se espera que en un futuro y a través de la colaboración entre los administradores de la reserva y los operadores que trabajan en el área, se aprueben y se apliquen lineamientos que permitan el avistamiento seguro de los manatíes y otros animales en la RB Sian Ka’an.

En cuanto al método de colecta de información, se resaltan las ventajas del uso de drones para el registro de comportamiento. Desde el aire se logra abarcar un área conocida (a estimarse según altura de vuelo) y se incrementa la visibilidad respecto a observaciones desde tierra o embarcación. Otra ventaja es la posibilidad de calcular distancias, tamaños, desplazamientos y velocidades más eficazmente, ya sea usando un objeto de tamaño conocido registrado en el video como referencia (ej. embarcación) o las ecuaciones presentadas en este trabajo (figura 5). Los videos en sí constituyen un registro permanente que puede ser revisado por varios observadores para reducir errores. Además, la meta data asociada a los videos y vuelos del dron incluye coordenadas, altura de vuelo y hora, entre otros, lo que respalda y permite contrastar la información tomada en campo. Finalmente, un dron representa una plataforma de observación de menor impacto comparado con embarcaciones, pues el nivel de sonido transmitido del aire al agua es leve comparado a botes motorizados (Erbe et al. 2017).

8.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio de caso (turismo de avistamiento de manatíes en la RBSK y la interacción entre embarcaciones y manatíes) demostró que es posible realizar registros de comportamiento de manatíes en vida silvestre mediante el uso de drones livianos. Particularmente, se demostró que los drones livianos pueden ser usados para dar seguimiento al desarrollo de las actividades de ecoturismo con manatíes.

Las encuestas reflejan que los operadores turísticos de la zona han adquirido conocimiento sobre los lugares frecuentados por los animales y algunos comportamientos a través de su experiencia. Este conocimiento es importante porque permite recabar información sobre los manatíes de la zona y porque es información que debe ser tomada en cuenta al momento de desarrollar protocolos de avistamiento.

A través de la información registrada en videos, se evidencia que el avistamiento de manatíes en la RBSK puede ser riesgoso para los animales si se realiza desde una embarcación en movimiento. Se recomienda mantener únicamente el avistamiento desde bote estacionario. Algunas medidas que podrían implementarse adicionalmente serían: respetar una distancia de al menos 10 metros del ojo de agua, y regular el número de botes que frecuentan los ojos de agua, así como los horarios y días de visita.

Es recomendable proseguir con la recopilación de información e incorporar las opiniones y experiencia de los operadores turísticos involucrados en este proceso. Se espera que en un futuro próximo la información colectada por drones livianos permita sugerir estrategias para la optimización de las actividades de observación de manatíes en la RBSK y áreas similares.

9. FOTOIDENTIFICACIÓN MEDIANTE DRONES

9.1. ANTECEDENTES

Los manatíes pueden presentar cicatrices debido a encuentros con embarcaciones, enmallamientos con aparejos de pesca o infecciones fúngicas, así como deformaciones congénitas y mutilaciones (Beck y Reid 1995). Estas marcas pueden ser usadas para llevar a cabo fotoidentificación y catalogación, reuniendo información que permita el seguimiento de manatíes con señas particulares a fin de estudiar diversos aspectos individuales y poblacionales. Por ejemplo, el catálogo de fotoidentificación para *T. manatus latirostris* en Florida se viene construyendo desde fines de los años 1970 y contiene información sobre más de 2000 individuos (Beck y Clark 2012), habiéndose empleado en estudios de población que incluyen análisis de movimiento, características reproductivas y sobrevivencia (Beck y Reid 1995).

La fotoidentificación de sirenios normalmente se realiza tomando fotografías de las marcas que presentan los animales desde embarcaciones (Anderson 1995), desde la orilla (Goldsworthy 2018) o mediante toma de videos subacuáticos (Arce 2012, Shawky et al. 2017). Se trata de una técnica no intrusiva, tecnológicamente simple, económicamente asequible y que puede realizarse de modo oportunístico, aunque estudios a largo plazo de la población requieren monitoreo continuo y adquisición de nueva información (Beck y Clark 2012). Para estos casos, es necesario contar con un sistema adecuado de procesamiento de información. Un claro ejemplo es el sistema MIPS (*Manatee Individual Identification System*), sistema computarizado que incluye criterios y protocolos para el proceso de codificación, catalogación y comparación de imágenes de los manatíes de Florida (Beck y Reid 1995).

Entre las dificultades asociadas a la recopilación de imágenes útiles para foto identificación están: la falta de marcas distintivas en individuos o el que éstas se encuentren cubiertas por algas o barro, además de condiciones de aguas turbias para la fotografía (Beck y Clark 2012). La foto identificación de manatíes tiene un gran potencial para ser aplicado en el Caribe, ya que la mayoría de áreas se caracteriza por la transparencia de sus aguas. Ya se han realizado algunos esfuerzos al respecto en Belice, como el trabajo de Arce (2012). Por otro lado, Self-Sullivan (2008) calculó 0.44 de probabilidad de observar individuos con cicatrices en el Santuario de vida silvestre Swallow Caye, lo que confirmaría el potencial para realizar estudios asociados a foto identificación en Belice.

Es muy poco lo que se ha avanzado en cuanto al uso de drones para fotoidentificación en mamíferos acuáticos. Particularmente Koski et al. (2015) demostraron que es posible obtener imágenes de suficiente calidad para realizar foto identificación de ballenas boreales (*Balaena mysticetus*) usando un dron de ala fija, Durban et al. (2015) reportaron la utilidad de un dron hexacóptero en la obtención de imágenes de alta resolución en orcas (*Orcinus orca*), logrando diferenciar individuos por sus marcas naturales, y Pomeroy et al. (2015) demostraron que es posible obtener imágenes útiles para fotoidentificación de focas grises (*Halichoerus grypus*) y focas comunes (*Phoca vitulina*) usando dos tipos de multicóptero. Considerando lo anterior, se propone la aplicabilidad de los drones para la captura de videos desde el aire que puedan ser usados en fotoidentificación de manatíes antillanos en el Caribe.

9.2. MÉTODOS

Se usó una base de 111 videos grabados por Ramos E.A. usando drones Phantom, principalmente en Turneffe Atoll y Saint George's Caye (Belice). La información proporcionada incluyó 4 videos del 2015, 45 videos del 2016 y 62 videos del 2017, además de los parámetros de vuelo asociados. Se empleó esta información tomada en Belice debido a que se trata de una gran base de datos colectada a través de

drones Phantom, en un área que también es usada por manatíes del sur del Caribe Mexicano, particularmente de Bahía Chetumal (Castelblanco-Martínez et al. 2013). Por otro lado, en Belice son frecuentes las colisiones de manatíes con embarcaciones (Auil-Gomez 2011), por lo que es común encontrar animales con marcas y cicatrices útiles para fotoidentificación. Estas características hacen que esta base de datos sea ideal para proponer el método de fotoidentificación de manatíes mediante drones, de modo que pueda ser aplicado próximamente al Caribe Mexicano.

Para la colecta de información se usó el método descrito por Ramos et al. (2018). Para la obtención de la base de videos se usaron drones DJI Phantom 3 Professional, Phantom 4 y Phantom 4 Pro. Todos son drones comerciales livianos (1240 – 1400 g), de tipo cuadróptero. Para reducir el reflejo del sol sobre la superficie se usó un polarizador lineal y la cámara se mantuvo dentro de los ángulos 45° a 90°. Los vuelos se realizaron a una altura de 100 m durante la búsqueda de manatíes, y una vez localizados se descendió sobre los individuos en un rango de 60 a 5 metros de altura. El descenso se realizó de modo gradual en intervalos de 5 m a 10 m, manteniéndose el dron sobre los animales durante 30 s - 120 s, antes de descender al siguiente nivel de altura hasta llegar generalmente a 30 m – 10 m. Durante los seguimientos horizontales se realizó un máximo de 5 descensos y se grabó un video durante todo el recorrido. Ha de considerarse que para la zona en que fueron tomados los videos la visibilidad del fondo puede ser de hasta 5 metros (Ramos, comm pers).

Los videos obtenidos fueron revisados para extraer entre dos a siete imágenes por video de los individuos adultos con marcas distintivas. A estos individuos se les asignó un código provisional. Sólo se consideraron adultos en el análisis dado que las crías rara vez presentan marcas distintivas (Langtimm et al. 2004). Durante la revisión de videos se anotaron los instantes (mm:ss) en que la marca era más visible (generalmente al momento en el que los animales salían a superficie para respirar) y se usó el programa Video Pad editor para extraer las imágenes, seleccionando los fotogramas más adecuados. Durante este proceso, se construyó una base de datos conteniendo información de cada video e individuos avistados.

Se clasificaron las imágenes extraídas por su calidad según el nivel de nitidez y contraste de la marca. Se usaron tres niveles: 1 (malo), 2 (regular), 3 (bueno). Se asignó el máximo nivel de nitidez cuando la forma y bordes de la marca eran del todo distinguibles. Se asignó el máximo nivel de contraste cuando el color de la marca resaltaba notablemente sobre el fondo. Se descartaron individuos para los que ninguna de sus imágenes obtuvo un nivel de nitidez mayor a uno, anotando la causa aparente de baja nitidez en la columna de observaciones. Se seleccionaron las imágenes con mayores niveles de nitidez y contraste para construir un catálogo preliminar, y para referencias futuras se buscaron las alturas a las que fueron tomadas estas imágenes en los archivos csv de los vuelos asociados a los videos desde donde se extrajeron.

El catálogo fue revisado por un experto para seleccionar a los animales con marcas que permitiesen su monitoreo a largo plazo (como cicatrices y mutilaciones) para construir el catálogo definitivo. Aquellos individuos presentando marcas de corto plazo (abrasiones leves, coloraciones de piel, etc) se compilaron en un archivo separado. Se descartaron otros individuos a criterio del experto. Se asignó el código definitivo a los individuos colocando primero las iniciales correspondientes al país de origen (BZ por Belice) y un número según el orden cronológico en el que fueron registrados en los videos. A los individuos presentando marcas de corto plazo, se les asignó el código del mismo modo, incluyendo la terminación “st” al final del código correspondiente.

Se codificaron las marcas de los individuos ingresados al catálogo con base en el formato de registro propuesto por Beck y Reid (1995), (anexo 13.8). Basados también en el sistema descrito por Beck y Reid (1995), aquellos individuos para los cuales sólo se registró una porción del dorso, o presentando imágenes de calidad pobre, fueron también ingresados al catálogo con la idea de que la información faltante pueda ser completada en un futuro. A estos individuos se les asignó el estado como incompleto, para diferenciarlos de aquellos individuos con un registro completo del cuerpo en imágenes (estatus completo).

Una ficha completa incluye código del individuo, fecha y lugar del primer y último avistamiento, código de la marca o características principales, sexo (si fue posible determinar), nombre, estado (completo o incompleto) y si han sido registradas o no pequeñas características que contribuyen a su diferenciación.

9.3 RESULTADOS

En los 111 vuelos grabados se registraron 256 avistamientos de adultos y 37 avistamientos de crías. De este modo, para individuos adultos se tiene un índice de 2.3 avistamientos por vuelo. Se encontraron preliminarmente 43 individuos adultos con marcas distintivas en los videos, de los cuales se extrajo un total de 300 imágenes. Al menos 49 imágenes correspondieron a partes del cuerpo donde no figuraba la marca principal de los individuos, pero que fueron necesarias para tener registro del cuerpo completo. Estas imágenes no se clasificaron en función a contraste y nitidez. De las imágenes clasificadas, 127 tuvieron ambos niveles de contraste y nitidez mayores a uno.

Al final del proceso de selección de imágenes y revisión de experto, se foto-identificaron 15 adultos con marcas que permitirían su seguimiento a largo plazo (Tabla 15, Figura 16), los que fueron ingresados al catálogo definitivo. Considerando éstos y el número de videos en que fueron avistados, se elaboró una curva de acumulación de individuos con marcas identificables a largo plazo (Figura 17).

Tabla 15. Individuos foto-identificados (Catálogo) para monitoreo a largo plazo

ID	Nombre	Estatus	Tipo de marca	Códigos de marca
BZ001	Ichi	Completo	Mutilación	MLY1S, MRY1S
BZ002	George	Completo	Cicatriz	SDA1LGL
BZ003	Titan	Completo	Cicatriz	SDX1SWL
BZ004	Twice	Completo	Cicatriz	SRB1MWL, SDX1MWL
BZ005	Bits	Incompleto	Cicatriz	SLC2SWL
BZ006	Drip	Incompleto	Cicatriz	SRC2SWB
BZ007	Trail	Incompleto	Cicatriz	SLC1LWL, SDC4LWL
BZ008	Tao	Incompleto	Cicatriz	SDC2MWL
BZ009	Nip	Incompleto	Mutilación	MDY2S
BZ010	Cronos	Completo	Cicatriz	SDD2SWB
BZ011	Raya	Incompleto	Cicatriz	SDD1SL
BZ012	Nerea	Completo	Cicatriz	SLB1SWL
BZ013	Canoli	Completo	Mutilación	MRX1S, MRY1S
BZ014	Chomp	Incompleto	Mutilación	MRY1S
BZ015	Groot	Incompleto	Mutilación	MLY1S

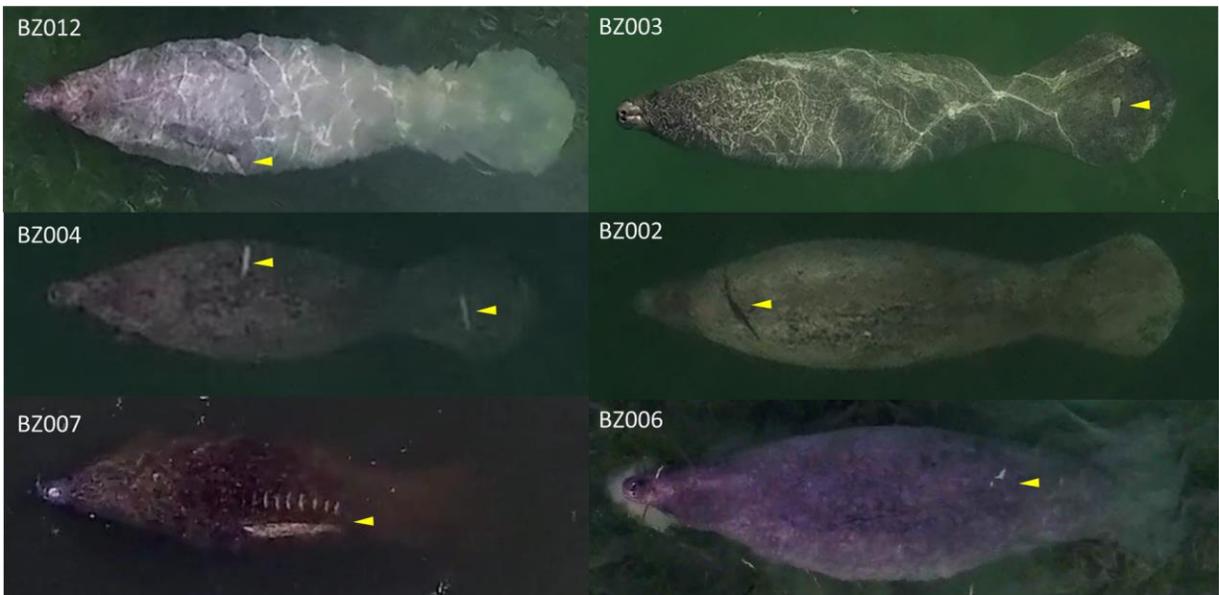


Figura 16. Algunos ejemplos de individuos foto-identificados a través del registro de videos mediante drones para su seguimiento a largo plazo. Las flechas amarillas señalan las marcas que caracterizan a los manatíes.

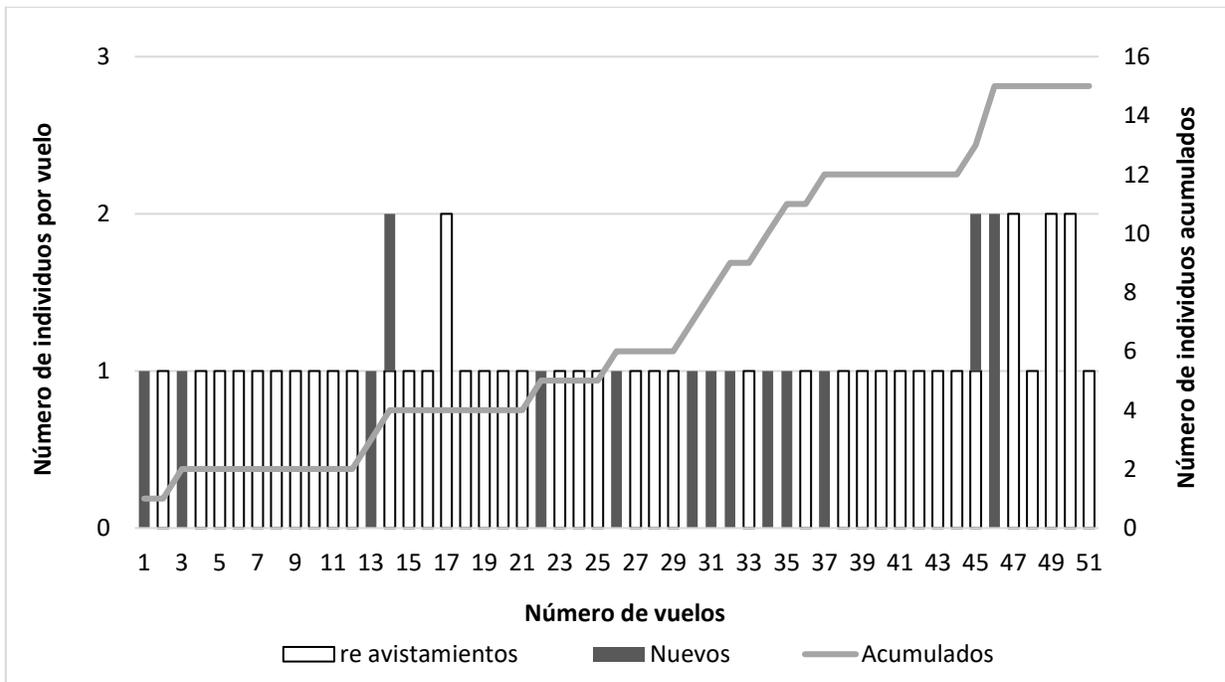


Figura 17 Curva de acumulación de individuos foto identificables a largo plazo.

Otros 15 individuos con marcas de corto plazo fueron también identificados (Figura 18). De los 256 avistamientos de adultos, 57 avistamientos correspondieron a individuos con marcas de largo plazo y 44 a individuos con marcas de corto plazo, evidenciando recapturas. Con esto se calculó un 0.22 de probabilidad de avistamiento de individuos con posibilidad de seguimiento a largo plazo. El catálogo definitivo puede ser revisado en el anexo 13.9 y un ejemplo de ficha en la Figura 19.

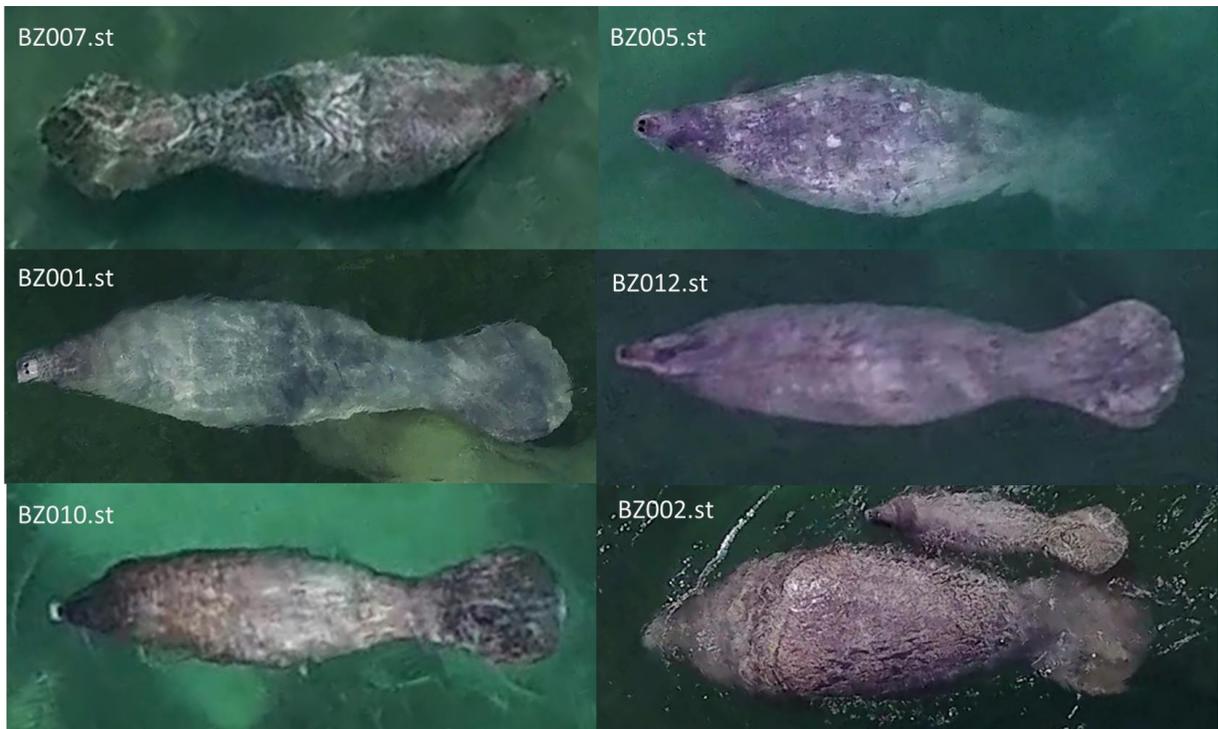


Figura 18. Algunos ejemplos de individuos foto-identificados a través del registro de videos mediante drones para su seguimiento a corto plazo

<p>BZ002 First on: 13/06/16 Last on: 30/06/16 First site: SGC Last site: SGC Mark code: SDA1LGL Status : complete Sex: unknown Name: George Small features: yes</p>		

Figura 19. Ejemplo de ficha de individuo foto identificado para el catálogo

Imágenes con el mayor nivel de nitidez fueron obtenidas entre los 6 y 25 metros de altura. Por otro lado, se identificaron un número de factores que de modo individual o combinado afectaron la calidad de imágenes extraídas de los videos, los que pueden revisarse en la Tabla 16 y Figura 20.

Tabla 16. Factores que afectan calidad de imagen con fines de foto-identificación.

Factor	Efecto	Categoría
Altura	pérdida de resolución	Método
Turbidez	enmascaramiento o cobertura	Ambiental
Luz escasa	pérdida de resolución	Ambiental
Alteración de superficie del agua	Distorsión	Ambiental
Reflexión de luz en el agua	enmascaramiento o cobertura	Ambiental



Figura 20. Ejemplo de pérdida de calidad de imagen debido a: turbidez del agua (a), alteración de superficie del agua (b), reflexión de luz en el agua (c). Todas las imágenes corresponden al mismo individuo.

9.4. DISCUSIÓN

Siguiendo el protocolo descrito en los métodos (9.2), fue posible realizar la foto-identificación de manatíes antillanos a partir de videos obtenidos mediante drones livianos. Aunque se han hecho algunas exploraciones sobre la aplicación de drones en foto identificación de grandes cetáceos (Durban et al. 2015, Koski et al. 2015) y pinnípedos (Pomeroy et al. 2015) es la primera vez que se emplean drones en la obtención de videos para foto identificación de sirenios y se propone un protocolo para lo mismo. Además, en comparación con los métodos tradicionales para colecta de imágenes (fotografía desde embarcación, orilla o subacuática), en aguas de alta transparencia los drones permiten obtener vistas dorsales completas de los individuos.

Ya que los drones tipo multirrotor (como los DJI Phantom empleados) pueden mantener vuelo estacionario, son ideales para la toma de fotografía y video (Smith et al. 2016) y por lo tanto para emplearse en colecta de imágenes y videos con fines de fotoidentificación. La obtención de imágenes de suficiente calidad para fotoidentificación también abre la posibilidad de realizar fotogrametría de los animales y sus marcas con fines de investigación. Para esto puede usarse un objeto de tamaño conocido como referencia (siguiendo los cálculos propuestos por Flamm et al. 2000).

Un monitoreo constante mediante drones también facilitaría la obtención de información sobre la evolución y adquisición de las marcas, como observado por Ramos et al. (2017a). Esto debido a que las

cicatrices tienden a hacerse menos notorias con el tiempo y sobreponerse con la aparición de nuevas cicatrices (Langtimm et al. 2004, Goldsworthy 2018). El tiempo de permanencia de una cicatriz puede variar según su extensión y profundidad, además de otros factores. En el caso de dugones, por ejemplo, Shaway et al. (2017) reportaron que las cicatrices dejan de ser aparentes tras cuatro meses.

El catálogo conteniendo 15 individuos con marcas de largo plazo constituye un punto de partida para ampliaciones futuras y una herramienta vigente para el monitoreo de manatíes antillanos en el Caribe Beliceño y sur del Caribe Mexicano, pues existe evidencia de movimiento entre estas áreas (Castelblanco-Martínez et al. 2013). Como se observa en la figura 22, el registro de nuevos individuos no alcanza una asíntota con el muestreo realizado, lo que evidencia que esta área se encuentra abierta al flujo de individuos de distinta procedencia. Por otro lado, las imágenes del catálogo presentado también son comparables (tomando el dorso) con imágenes obtenidas por métodos tradicionales para otras áreas de Belice, como el catálogo compilado por Arce (2012). En este sentido, el uso de drones para foto identificación puede complementarse con otros métodos existentes para incrementar las posibilidades de monitoreo.

Aunque el catálogo de individuos con marcas de corta duración no tiene aplicabilidad para el monitoreo a futuro, este tipo de marcas puede usarse en seguimientos de corto plazo y rango limitado (Urian et al. 2015). En dugones (*Dugong dugon*) por ejemplo, Anderson (1995) observó que abrasiones menores en la piel persisten al menos dos semanas. Se desconoce cuánto tiempo duran las coloraciones de piel, pero es prudente aproximar que para este tipo de marcas el seguimiento sería menor al mes. En monitoreos de rango limitado y corta duración, emplear drones también resulta ventajoso, pues es posible realizar vuelos diarios desde la orilla, sin mayor logística requerida.

Ciertas incongruencias fueron observadas durante la extracción de información de alturas de vuelo, reflejando fallas en la precisión de los sensores del dron. Inconvenientes de este tipo ya han sido mencionados por Domínguez-Sánchez et al. (2018), quienes observaron que el altímetro de su dron era impreciso (> 1 m de altura real), por lo que antes de cada salida realizaron vuelos para determinar el error de altura. Aunque las incongruencias observadas en nuestro caso fueron de varios metros (hasta 30 m), es importante tener en cuenta estas fuentes de error inherentes al equipo. Por ejemplo, sobrecalentamiento durante vuelo podría ser uno de los factores afectando la precisión de los sensores (Ramos, com pers). Por otro lado, la obtención de imágenes útiles para foto-identificación puede verse dificultada por un número de factores (Tabla 15). Aunque algunos pueden evitarse (volando a menores alturas, evitando horas de escasa luz y condiciones de exceso de viento, etc), ya que el menos una parte de nuestro objeto de estudio siempre estará sumergida, efectos debidos a distorsión del agua, turbidez o reflexión de luz son ineludibles, pero pueden compensarse por el método de registro (video) que provee mayor número de imágenes (cuadros por segundo) que las fotografías.

Durante la colecta de información, algunos individuos detectaron y reaccionaron al dron a alturas variables de vuelo menores a 40 metros, mientras que otros se mostraron indiferentes incluso a 5 metros de distancia (Ramos, comm pers). Aunque Jones et al. (2006) y Hodgson et al. (2013) no reportaron reacciones en sirenios a alturas mayores a 100 m, lo cierto es que, comparados con delfines y ballenas, los manatíes tienden a reaccionar a los drones en un rango más amplio de alturas, generalmente por debajo de 40 m (Ramos et al. 2017b, Ramos et al. 2018). Es por esto importante evaluar los factores que podrían desencadenar una respuesta en los animales, y el caso de los drones considerar la velocidad y ángulo de acercamiento (Smith et al. 2016). El protocolo de registro de videos para foto identificación propuesto toma en cuenta un acercamiento gradual y cauteloso a los animales por lo que puede asumirse un bajo grado de disturbio. Por ejemplo, considerando que un multirroto

produce más ruido cuando cambia de altura (Sweeney et al. 2015), los cambios de altura se hicieron por etapas y cuando el animal objetivo se encontraba sumergido. En general, drones livianos operados por pilotos experimentados tienen poco efecto sobre el comportamiento de mamíferos marinos, generando reacciones cortas, menos frecuentes, y de menor impacto que la mayoría de interacciones con embarcaciones (Ramos et al. 2017b).

9.5. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

El protocolo detallado en la sección de métodos se ha probado eficaz en la obtención y análisis de información para elaboración de catálogo y base de datos asociada, por lo que es factible usar drones (bajo las especificaciones mencionadas) para la foto identificación de manatíes antillanos en ambientes del Caribe.

Para esfuerzos futuros, y con la finalidad de obtener imágenes de marcas con buenos niveles de nitidez, se recomienda no realizar registros de video en condiciones de escasa luz (amanecer o anochecer), aprovechar condiciones de viento mínimo (ya que el movimiento de la superficie del agua incrementa la distorsión de los objetos sumergidos), y acortar la distancia vertical con el individuo observado a menos de 25 m durante la toma de videos. Sobre este punto, generalmente menores alturas obtienen mejores resultados de imagen, pero debe considerarse el comportamiento del individuo observado en el proceso. Se desaconseja el seguimiento prolongado de individuos que manifiesten algún signo de estrés (como comportamiento de huida), sobre todo en el caso de hembras con cría.

10. LINEAMIENTOS PARA EL USO DE DRONES LIVIANOS COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE MANATÍES ANTILLANOS

El presente estudio se llevó a cabo en ambientes típicos del Caribe, por lo que, aunque los lineamientos y protocolo se propongan para el estudio de manatíes antillanos en el Caribe Mexicano, podrían ser aplicados en otras regiones del Caribe donde se encuentra distribuido *T. manatus manatus*. Del mismo modo, podrían potencialmente aplicarse para el estudio de la sub especie *T. manatus latirostris*, el manatí de Florida, en hábitats similares en términos de transparencia. Sin embargo, hay que tomar en cuenta las restricciones y normativas de cada país para el uso de drones, lo que podría limitar la aplicación de los métodos aquí sugeridos.

Considerando que la altura de vuelo a la que los animales responden al dron varía según la especie observada (Ramos et al., 2017b; Ramos et al., 2018), es importante plantear lineamientos de vuelo específicos. Ya se ha comprobado que los drones pueden afectar el comportamiento de los manatíes antillanos (Ramos et al., 2018, este estudio), quienes en vida libre exhiben mayor número de respuestas a alturas de vuelo por debajo de los 40 m (Ramos et al., 2017b). Basados en esto y en nuestros resultados y observaciones, puede proponerse una altura de vuelo para detección de 100 m, una altura para registro de comportamiento de 50 m. En cuanto al registro de videos para fines de foto identificación, imágenes de mayor resolución se obtienen a menores alturas, pero deben tomarse en cuenta el comportamiento de los animales durante la toma de información.

10.1 PROTOCOLO DE USO DE DRONES PARA EL ESTUDIO DE MANATÍES EN EL CARIBE

Para el estudio de manatíes en vida libre mediante drones multirrotores livianos con tiempo de vuelo menor a 25 min, se propone el siguiente protocolo (Figura 21) asumiendo que se cuentan con los permisos y autorizaciones respectivas para operar en el área de estudio seleccionada:

1. **Planificar el muestreo.** Tomar en cuenta el tiempo y número de baterías disponibles para esta operación, además de la accesibilidad a los puntos de despegue). Comprobar que las zonas elegidas no sean zonas de vuelo prohibido o restringido (en inmediaciones de aeropuertos, helipuertos, ciertas zonas urbanas, etc). Para drones marca DJI estas zonas pueden revisarse en www.dji.com/es/flysafe.
2. **Comprobar el equipo antes de llevarlo al campo.** Revisar que todos los componentes estén en buen estado, que el firmware del dron y la aplicación de vuelo estén actualizados, y que las baterías, control remoto y iPad (o en su caso equipo con sistema operativo IOS o Android que acepte aplicación de vuelo) estén cargados. Colocar una tarjeta microSD en el dron para el registro de videos y fotografías.
3. **Evaluar las condiciones pre-vuelo ambientales y del equipo.** Evitar volar bajo escalas Beaufort mayores a 2 (en la escala Beaufort, el número 2 equivale a velocidad de viento de 6-11 km/h), en condiciones de poca iluminación (amanecer o anochecer) y en horas con mayor reflejo solar (últimas horas de mañana y primeras horas de tarde). No volar bajo lluvia, tormenta o de noche. Antes del despegue, hacer la comprobación pre-vuelo (dependiendo del modelo de dron) y asegurarse de tener las configuraciones de video y fotografía en máxima calidad.
4. **Registrar la información.** Durante el vuelo, tener en cuenta en todo momento las condiciones ambientales y el nivel de batería remanente. Se debe contar con un acompañante en caso de que sea necesario despegue o aterrizaje asistido, y para facilitar el monitoreo de condiciones externas que pudiesen afectar al dron durante el vuelo.
 - 4.1. Detección: Realizar vuelos de trayectoria rectangular con los brazos más largos (transectos) perpendiculares a la costa y midiendo 1 km de largo. Realizar los recorridos a velocidades entre 16 – 20 km/hr y considerar el ancho de banda para evitar traslapes. Para P3A en formato video (2.7 K) y a 100 m de altura, el ancho de banda equivale a ~154 m, por lo que debe dejarse una separación de al menos 80 m entre transectos para evitar traslapes. Para otros modelos de dron, deben hacerse vuelos previos registrando objetos de tamaño conocido para determinar los anchos de banda. Grabar un video de todo el recorrido.
 - 4.2. Registro de comportamiento: Una vez ubicados los objetos de estudio, permanecer en vuelo estacionario a 50 m de altura (como límite mínimo), grabando un video de las interacciones o comportamiento. Si los objetos de estudio se desplazan hacia los extremos del marco de la imagen transmitida, realizar desplazamientos horizontales para mantenerlos en el marco de imagen.
 - 4.3. Fotoidentificación: Una vez ubicados los objetos de estudio, descender gradualmente por tramos de 5 a 10 m, cuando los manatíes se encuentran sumergidos, hasta llegar a los 25 m de altura de vuelo. En cada tramo de descenso permanecer al menos 30 s antes de descender al siguiente nivel. Si no se observa reacción de huida por parte del individuo objetivo, llegar hasta un mínimo de 10 metros. Grabar un video de todo el recorrido.
5. **Recuperar y procesar información.** Descargar la información contenida en la tarjeta microSD (videos y/o fotografías) y registrada por la aplicación de vuelo (parámetros de vuelo y recorrido).

Información sobre tiempo de vuelo, distancia cubierta y coordenadas de avistamiento puede obtenerse a partir de los parámetros de vuelo registrados en la aplicación de vuelo.



Figura 21. Protocolo simplificado para uso de drones en estudio y monitoreo de manatíes antillanos en el Caribe

11. CONSIDERACIONES FINALES

Los drones livianos son herramientas versátiles, que pueden ser empleadas en el estudio y monitoreo de manatíes antillanos a través de la detección de individuos en vida libre, registro de comportamiento y foto-identificación.

Aunque se ha demostrado que estos drones pueden tener un efecto sobre el comportamiento de los manatíes, en general representan plataformas de observación de escaso impacto, con las ventajas de ser herramientas de bajo costo, seguras para el operador, y que permiten registrar gran cantidad de información de manera automática. Actualmente, debido a las limitaciones en duración de la batería, los drones livianos no permiten suplir el papel de los sobrevuelos tripulados para censos de sirenios, pero tienen potencial para el monitoreo permanente de áreas reducidas, monitoreo de individuos radiomarcados, o vigilancia de áreas de riesgo de colisión de manatíes con embarcaciones, entre otros.

La metodología aquí presentada se ha probado eficaz en la obtención y análisis de información, por lo que se recomienda su uso en trabajos futuros. Se espera que la aplicación de esta tecnología en la investigación de manatíes refuerce los esfuerzos para su conservación, principalmente como herramienta de monitoreo en áreas naturales protegidas y zonas de alto riesgo. Sin embargo, al ser los drones una nueva herramienta de investigación en manatíes antillanos es importante continuar con la incorporación de mejoras en la metodología asociada. Es de esperar que el desarrollo tecnológico continuo conlleve la pronta aparición de nuevos y mejores equipos, que optimizarán el registro de información y reducirán el nivel de disturbio hacia los manatíes.

12. REFERENCIAS

Ackerman B.B. 1995. Aerial Surveys of Manatees: A Summary and Progress Report. *In* Population Biology of the Florida Manatee. Vol. Inform Tech Rep 1. O'Shea T.J., Ackerman B.B., Percival H.F., editors. US Department of the Interior, National Biological Service, Washington, DC, USA. 13-33.

Adame K., Pardo M.A., Salvadeo C., Beier E., Elorriaga-Verplancken F.R. 2017. Detectability and categorization of California sea lions using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science*. 33:913-925.

Alves M.D., Kinas P.G., Marmontel M., Borges J.C.G., Costa A.F., Schiel N., Araújo M.E. 2016. First abundance estimate of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Brazil by aerial survey. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 96:955-966.

Anderson K., Gaston K.J. 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 11:138-146.

Anderson P.K. 1995. Scarring and photoidentification of dugongs (*Dugong dugon*) in Shark Bay, Western Australia. *Aquatic Mammals*. 21:205-211.

Arce N. 2012. Conservation of manatees in the area of the Swallow Caye Wildlife Sanctuary: population study. ECOSUR and Sherbrooke University. 62.

Arona L., Dale J., Heaslip S.G., Hammill M.O., Johnston D.W. 2018. Assessing the disturbance potential of small unoccupied aircraft systems (UAS) on gray seals (*Halichoerus grypus*) at breeding colonies in Nova Scotia, Canada. *PeerJ*. 6:e4467.

Auil-Gomez N.E. 2011. The fate of manatees in Belize. *In* Too Precious to Drill: the Marine Biodiversity of Belize. Vol. 19. Palomares M.L.D. and Pauly D., editors. Fisheries Centre Research Reports. 175.

Ávila-Canto J.G., Velázquez-Mendoza C., Castelblanco-Martínez N., Niño-Torres C., Córdova-Tapia F. 2017. Is the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) back in town? Presence of the species at the Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88:999-1002.

Áxis-Arroyo J., Morales-Vela B., Torruco-Gómez D., Vega-Cendejas M.E. 1998. Factors associated with habitat use by the Caribbean manatee (*Trichechus manatus*), in Quintana Roo, Mexico (Mammalia). *Revista de Biología Tropical*. 46:791-803.

Bacchus M.L.C., Dunbar S.G., Self-Sullivan C. 2009. Characterization of resting holes and their use by the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes, Belize. *Aquatic Mammals*. 35:62-71.

Beck C., Clark A. 2012. Individual identification of sirenians. *In* Sirenian Conservation: Issues and Strategies in Developing Countries. Hines E.M., III J.E.R., Aragones L.V., Mignucci-Giannoni A.A., Marmontel M., editors. University Press of Florida. Gainesville, FL. 133-138.

Beck C.A., Reid J.P. 1995. An automated photo-identification catalog for studies of the life history of the Florida manatee. *In* Population Biology of the Florida Manatee, National Biological Service Information and Report 1. O'Shea T.J., Ackerman B.B., Percival F., editors. 56-62.

Bonde R.K., Aguirre A.A., Powell J. 2004. Manatees as Sentinels of Marine Ecosystem Health: Are They the 2000-pound Canaries? *EcoHealth*. 1:255–262.

Buckingham C.A., Lefebvre L.W., Schaefer J.M., Kochman H.I. 1999. Manatee response to boating activity in a thermal refuge. *Wildlife Society Bulletin*. 27:514-522.

Calleson C., Frohlich R. 2007. Slower boat speeds reduce risks to manatees. *Endangered Species Research*. 3:295-304.

Castelblanco-Martínez D.N., Morales-Vela B., Hernández-Arana H.A., Padilla-Saldívar J. 2009. Diet of manatees *Trichechus manatus manatus* in Chetumal Bay, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*. 7:39-46.

Castelblanco-Martínez D.N., Padilla-Saldívar J., Hernández-Arana H.A., Slone D., Reid J., Morales-Vela B. 2013. Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. *Marine Mammal Science*. 29:166-182.

Castelblanco-Martínez D.N., Morales-Vela B., Slone D.H., Padilla-Saldívar J.A., Reid J.P., Hernández-Arana H.A. 2015. Inferring spatial and temporal behavioral patterns of free-ranging manatees using saltwater sensors of telemetry tags. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*. 80:21-30.

Castelblanco-Martínez D.N., Galves J., Ramos E., Searle L., Niño-Torres C.A., Padilla Saldívar J.A. 2018. A decade of manatee mortality along the Caribbean coast of Belize and Mexico shows a dramatic increase in watercraft related deaths. *In XXXVI Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, Tabasco, México*.

Christiansen F., Dujon A.M., Sprogis K.R., Arnould J.P., Bejder L. 2016a. Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere*. 7.

Christiansen F., Rojano-Doñate L., Madsen P.T., Bejder L. 2016b. Noise levels of multi-rotor unmanned aerial vehicles with implications for potential underwater impacts on marine mammals. *Frontiers in Marine Science*. 3:277.

Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L. 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 14:241-251.

Colefax A.P., Butcher P.A., Kelaher B.P., Browman H.e.H. 2017. The potential for unmanned aerial vehicles (UAVs) to conduct marine fauna surveys in place of manned aircraft. *ICES Journal of Marine Science*. 75:1-8.

Colmenero-Rolon L.C., Zarate B.E. 1990. Distribution, status and conservation of the West-Indian manatee in Quintana-Roo, Mexico. *Biological Conservation*. 52:27-35.

Colmenero-Rolón L.C., Hoz Z. 1986. Distribucion, situacion y conservacion de los manaties en Mexico. *Anales del Instituto de Biologia Universidad Nacional Autonoma de Mexico Serie Zoologia*. 56:955-1020.

Colmenero-Rolón L.C. 1991. Propuesta de un plan de recuperación para la población del manatí *Trichechus manatus* en México. *Anales del instituto Biológico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie zoología*. 62:203-218.

CONANP. 2013. Importante la participación comunitaria en las actividades turísticas de la Reserva de Biósfera Sian Ka'an. *In* Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (CONANP) <www.conanp.gob.mx>. Comunicado de Prensa. 15 agosto, 2013., Ciudad de México, México.

CONANP. 2016. Estrategia Nacional para un Desarrollo Sustentable del Turismo y la Recreación en las Areas Protegidas de México. SEMARNAT-CONANP, México D.F, México. 79 pp.

Crockett C.M. 1996. Data collection in the zoo setting, emphasizing behavior. *In* Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques. Kleiman D.G., Allen M.E., Thompson K.V., editors. Chicago Press. 639.

Deutsch C.J., Reid J.P., Bonde R.K., Easton D.E., Kochman H.I., O'Shea T.J. 2003. Seasonal movements, migratory behavior and site fidelity of West Indian manatees along the Atlantic Coast of the United States. *Wildlife Monographs*. 151::1-77.

DGAC. 2017. Circular Obligatoria CO-AV -23/10 R4 que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave piloteada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano. Dirección General de Aeronáutica Civil – Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 55 p.

Diaz Ortiz M., Castelblanco-Martínez N., Nourisson C. 2014. Efectos del turismo sobre la presencia del manatí del Caribe al norte de Quintana Roo, Mexico, después de 15 años. *In* IV Congreso Colombiano de Zoología, Cartagena de Indias, Colombia.

Domínguez-Sánchez C.A., Acevedo-Whitehouse K.A., Gendron D. 2018. Effect of drone-based blow sampling on blue whale (*Balaenoptera musculus*) behavior. *Marine Mammal Science*.

Domning D.P., Hayek L.A.C. 1986. Interspecific and intraspecific morphological variation in manatees (*Sirenia*, *Trichechus*). *Marine Mammal Science*. 2:87-144.

Durban J., Fearnbach H., Barrett-Lennard L., Perryman W., Leroi D. 2015. Photogrammetry of killer whales using a small hexacopter launched at sea. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 3:131-135.

Durban J.W., Moore M.J., Chiang G., Hickmott L.S., et al. 2016. Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter. *Marine Mammal Science*. 32:1510-1515.

Edwards H.H., Pollock K.H., Ackerman B.B., Reynolds III J.E., Powell J.A. 2007. Estimation of Detection Probability in Manatee Aerial Surveys at a Winter Aggregation Site. *Journal of Wildlife Management*. 71:2052-2060.

Edwards H.H., Martin J., Deutsch C.J., Muller R.G., Koslovsky S.M., Smith A.J., Barlas M.E. 2016. Influence of manatees' diving on their risk of collision with watercraft. *PLoS One*. 11:e0151450.

Erbe C., Parsons M., Duncan A., Osterrieder S.K., Allen K. 2017. Aerial and underwater sound of unmanned aerial vehicles (UAV). *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 5:92-101.

Etheridge K., Rathbun G.B., Powell J.A., Kochman H.I. 1985. Consumption of aquatic plants by the West Indian manatee. *Journal of Aquatic Plant Management*. 23:21-25.

Fiori L., Doshi A., Martinez E., Orams M.B., Ballard-Breen B. 2017. The use of unmanned aerial systems in marine mammal research. *Remote Sensing*. 9:543.

Flamm R.O., Owen E.C.G., Owen C.F.W., Wells R.S., Nowacek D. 2000. Aerial videogrammetry from a tethered airship to assess manatee life-stage structure. *Marine Mammal Science*. 16:617-630.

FWC. 2012. Manatee Waterway signs. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, USA.

Gaspard J., III, Bauer G., Reep R., Dziuk K., Read L., Mann D. 2013. Detection of hydrodynamic stimuli by the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Journal of Comparative Physiology A*. 199:441-450.

Gaspard J.C., Bauer G.B., Reep R.L., Dziuk K., Cardwell A., Read L., Mann D.A. 2012. Audiogram and auditory critical ratios of two Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY*. 215:1442-1447.

Gerstein E.R. 2002. Manatees, bioacoustics and boats: hearing tests, environmental measurements and acoustic phenomena may together explain why boats and animals collide. *American Scientist*. 90:154-163.

Gibbs M., Futral T., Mallinger M., Martin D., Ross M. 2010. Disturbance of the Florida manatee by an invasive catfish. *Southeastern Naturalist*:635-648.

Gobierno del Estado de Quintana Roo. 1996. Decreto por el que se declara como área natural protegida la región conocida como Bahía de Chetumal, con la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Santuario del Manatí, ubicada en el Municipio de Othón P. Blanco, Estado de Quintana Roo. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo, Tomo III, no. 24 extraordinario, 5ª época, 24 de octubre de 1996. Chetumal, Quintana Roo, 12 pp.

Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi D.J. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology*. 38:619-630.

Goldsworthy L. 2018. Regionalization of scar patterns on the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*) observed at Harbor Branch Oceanographic Institute, Florida. Vol. MSc. Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida, USA. 48.

Gomes F.F.A., Vergara-Parente J.E., Ferrari S.F. 2008. Behaviour Patterns in Captive Manatees (*Trichechus manatus manatus*) at Itamaracá Island, Brazil. *Aquatic Mammals*. 34:269-276.

Hartman D.S. 1979. Ecology and behavior of the manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. Special Publication No 5, Lawrence, Kansas. 153 pp.

Hodgson A., Kelly N., Peel D. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. *PLoS One*. 8:e79556.

Hodgson A., Peel D., Kelly N. 2017. Unmanned aerial vehicles for surveying marine fauna: assessing detection probability. *Ecological Applications*. 27:1253-1267.

Hodgson A.J., Noad M., Marsh H., Lanyon J., Kniest E. 2010. Using Unmanned Aerial Vehicles for surveys of marine mammals in Australia: test of concept. Final Report to the Australian Marine Mammal Centre. 30.

- Hodgson J.C., Koh L.P. 2016. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology*. 26:R404-R405.
- Hodgson J.C., Mott R., Baylis S.M., Pham T.T., et al. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution*. 9:1160-1167.
- Irvine A.B. 1983. Manatee metabolism and its influence on distribution in Florida. *Biological Conservation*. 25:315-334.
- Jones I.G.P., Pearlstine L.G., Percival H.F. 2006. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin*. 34:750-758.
- King J.M., Heinen J.T. 2004. An assessment of the behaviors of overwintering manatees as influenced by interactions with tourists at two sites in central Florida. *Biological Conservation*. 117:227-234.
- Koski W.R., Allen T., Ireland D., Buck G., et al. 2009. Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. *Aquatic Mammals*. 35:347.
- Koski W.R., Gamage G., Davis A.R., Mathews T., LeBlanc B., Ferguson S.H. 2015. Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus*. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 3:22-29.
- LaCommare K.S., Self-Sullivan C., Brault S. 2008. Distribution and habitat use of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes area of Belize, Central America. *Aquatic Mammals*. 34:35-43.
- Landero-Figueroa M., Liceaga-Correa M.d.I.Á., Morales-vela B. 2014. Ecological distribution of manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Bahía de la Ascensión, Mexico. *Marine Mammal Science*. 30:1581-1588.
- Landero-Figueroa M.M. 2010. Distribución potencial del manatí (*Trichechus manatus manatus*) en Bahía de la Ascensión, Quintana Roo. *In* Departamento de Recursos del Mar. Vol. M.Sc. Thesis. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mérida, México. 86.
- Langtimm C.A., Beck C.A., Edwards H.H., Fick-Child K.J., Ackerman B.B., Barton S.L., Hartley W.C. 2004. Survival estimates for Florida manatees from the photo-identification of individuals. *Marine Mammal Science*. 20:438-463.
- Lefebvre L.W., Ackerman B.B., Portier K.M., Pollock K.H. 1995. Aerial survey as a technique for estimating trends in manatee population size - Problems and Prospects. *In* Population Biology of the Florida Manatee. O'Shea T.J., Ackerman B.B., Percival F., editors, National Biological Service Information and Report 1. 63-74.
- Lefebvre L.W., Marmontel M., Reid J.P., Rathbun G.B., Domning D.P. 2001. Distribution, status, and biogeography of the West Indian manatee. *In* Biogeography of the West Indies: Patterns and Perspectives. Woods C.A. and Sergile F.E., editors. CRC Press, Boca Raton (FL). 425-474.
- Linchant J., Lisein J., Semeki J., Lejeune P., Vermeulen C. 2015. Are unmanned aircraft systems (UAS) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review*. 45:239-252.

- Mann D., Bauer G., Reep R., Gaspard J., Dziuk K., Read L. 2009. Auditory and tactile detection by the West Indian manatee. St. Petersburg, Florida: Fish and Wildlife Research Institute.
- Marsh H., Sinclair D.F. 1989. Correcting for Visibility Bias in Strip Transect Aerial Surveys of Aquatic Fauna. *The Journal of Wildlife Management*. 53:1017-1024.
- Marsh H., Lefebvre L.W. 1994. Sirenian status and conservation efforts. *Aquatic Mammals*. 20:155-170.
- Marsh H. 1995. The life history, pattern of breeding, and population dynamics of the dugong. *In* Population Biology of the Florida Manatee. National Biological Service Information and Report 1 (289 pp). O'Shea T., Ackerman B.B., Percival F., editors. 75-83.
- Mignucci-Giannoni A.A., Beck C.A. 1998. The diet of the manatee (*Trichechus manatus*) in Puerto Rico. *Marine Mammal Science*. 14:394-397.
- Miksis-Olds J.L., Donaghay P.L., Miller J.H., Tyack P.L., Nystrue J.A. 2007a. Noise-level correlates with manatee use of foraging habitats. *Journal of the Acoustical Society of America*. 121:3011-3020.
- Miksis-Olds J.L., Donaghay P.L., Miller J.H., Tyack P.L., Reynolds J.E. 2007b. Simulated vessel approaches elicit differential responses from manatees. *Marine Mammal Science*. 23:629-649.
- Miksis-Olds J.L., Tyack P.L. 2009. Manatee (*Trichechus manatus*) vocalization usage in relation to environmental noise levels. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 125:1806-1815.
- Morales-Vela B., Olivera-Gómez L.D. 1994a. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Investigación Científica*. 2:27-34.
- Morales-Vela B., Olivera-Gómez L.D. 1994b. Distribución y abundancia del manatí en la Reserva de la Bisfera Sian Ka'an, Q. Roo, México (1992-1994). *Sian Ka'an Journal, Serie Documentos*.
- Morales-Vela B., Olivera-Gómez L.D. 1997. Distribución del Manatí (*Trichechus manatus*) en la costa norte y centro-norte del estado de Quintana Roo, México. *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México Serie Zoología*. 68:153-167.
- Morales-Vela B., Olivera-Gomez L.D., Reynolds III J.E., Rathbun G.B. 2000. Distribution and habitat use by manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Belize and Chetumal Bay, Mexico. *Biological Conservation*. 95:67-75.
- Morales-Vela B., Padilla-Saldivar J.A., Sanvicente-López M. 2002. Mortandad de manatíes en la Bahía de Chetumal y riesgos actuales. *In* Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Rosado-May F.J., Romero-Mayo R., De Jesus-Navarrete A., editors. Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México. 67-72.
- Morales-Vela B., Padilla-Saldivar J.A., Mignucci-Giannoni A.A. 2003. Status of the manatee (*Trichechus manatus*) along the northern and western coasts of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Caribbean Journal of Science*. 39:42-49.
- Morales-Vela B., Padilla-Saldivar J. 2009a. Demografía, ecología y salud de la población de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) en Quintana Roo, y su variación y representación genética en México. *In* Informe Técnico Final. Proyecto SEMARNAT/CONACYT 2002-C01-1128. 273 p.

Morales-Vela B., Padilla-Saldívar J. 2009b. Aspectos biológicos de los manatíes en el sur de Quintana Roo. *In* El sistema ecológico de la Bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del mar Caribe. Espinoza-Ávalos J., Islebe G., Hernández-Arana H.A., editors. El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Quintana Roo, México. 115-124.

Moreland E.E., Cameron M.F., Angliss R.P., Boveng P.L. 2015. Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 3:114-122.

Niezrecki C., Phillips R., Meyer M., Beusse D.O. 2003. Acoustic detection of manatee vocalizations. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 114:1640-1647.

Niño-Torres C.A., del Carmen García-Rivas M., Castelblanco-Martínez D.N., Padilla-Saldívar J.A., del Pilar Blanco-Parra M., de la Parra-Venegas R. 2015. Aquatic mammals from the Mexican Caribbean; a review. *HIDROBIOLOGICA*. 25:127-138.

Nowacek S.M., Wells R.S., Owen E.C., Speakman T.R., Flamm R.O., Nowacek D.P. 2004. Florida manatees, *Trichechus manatus latirostris*, respond to approaching vessels. *Biological Conservation*. 119:517-523.

O'Shea T.J., 271(1): 66-72. 1994. Manatees. *Scientific American*. 271:66-72.

Olivera-Gómez L.D., Mellink E. 2002. Spatial and temporal variation in counts of the Antillean manatee (*Trichechus m. manatus*) during distribution surveys at Bahía de Chetumal, Mexico. *Aquatic Mammals*. 28:285-293.

Olivera-Gómez L.D., Mellink E. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation*. 121:127-133.

Ortega-Argueta A., Hines E., Calvimontes J. 2012. Using interviews in sirenian research. *In* Sirenian conservation: issues and strategies in developing countries. Hines E., Reynolds III J.E., Aragonés L., Mignucci-Giannoni A., Marmontel M., editors. University Press of Florida, Florida.

Ortega-Argueta A., Castelblanco-Martínez D.N. 2018. Is captive breeding a priority for manatee conservation in Mexico? *Oryx*:1-8.

Padilla N.S. 2015. The environmental effects of Tourism in Cancun, Mexico. *International Journal of Environmental Sciences*. 6:282.

Pollock K.H., Marsh H., Lawler I.R., Alldredge M.W. 2006. Estimating Animal Abundance in Heterogeneous Environments: An Application to Aerial Surveys for Dugongs. *Journal of Wildlife Management*:255-262.

Pomeroy P., O'Connor L., Davies P. 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 3:102-113.

Quintana-Rizzo E., Castelblanco-Martínez D.N., Edwards H., Morales-Vela B., Ubeda A., Walker Z. 2015. First regional aerial survey of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Mexico-Belize-

Guatemala region of Central America. *In* The Seventh International Sirenian Symposium, San Francisco, California, USA.

Ramos E.A., Castelblanco Martínez D.N., Landeo-Yauri S., Niño-Torres C., Magnasco M., Reiss D. 2017a. Small drones: a tool to study, monitor, and manage free-ranging Antillean manatees in Belize and Mexico. *Sirenews*. 67:13-16.

Ramos E.A., Maloney B., Castelblanco-Martínez N., Kerr I., et al. 2017b. Behavioral Reactions of Marine Mammals to Drones. *In* of 22 nd. Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals Halifax, Nova Scotia, Canada.

Ramos E.A., Maloney B.M., Magnasco M.O., Reiss D. 2018. Bottlenose dolphins and Antillean manatees respond to small multi-rotor unmanned aerial systems. *Frontiers in Marine Science*. 5:316.

Rycyk A.M., Deutsch C.J., Barlas M.E., Hardy S.K., Frisch K., Leone E.H., Nowacek D.P. 2018. Manatee behavioral response to boats. *Marine Mammal Science*.

SEDETUR. 2016. Indicadores turísticos. *In* Secretaría de Turismo (SEDETUR) <www.sedetur.groo.gob.mx>. Downloaded on 10 May 2017

Self-Sullivan C. 2008. Conservation of Antillean manatees in the Drowned Cayes area of Belize. *In* Wildlife and Fisheries Sciences. Vol. PhD Thesis. Texas A & M University, Texas, USA. 143

Self-Sullivan C., Mignucci-Giannoni A. 2008. *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. *In* IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 22 May 2012.

SEMARNAT. 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. En: Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., México, D. F. 1- 78.

Serrano A., García-Jiménez A., González-Gándara. 2007. Has The Manatee (*Trichechus Manatus*) Disappeared From The Northern Coast Of The State Of Veracruz, Mexico? *Latin American Journal of Aquatic Mammals*. 6:109-112.

Serrano A., del Carmen Daniel-Rentería I., Hernández-Cabrera T., Sánchez-Rojas G., Cuervo-López L., Basáñez-Muñoz A. 2017. Is the West Indian Manatee (*Trichechus manatus*) at the Brink of Extinction in the State of Veracruz, Mexico? *Aquatic Mammals*. 43:201.

Seymour A., Dale J., Hammill M., Halpin P., Johnston D. 2017. Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned aircraft systems (UAS) and thermal imagery. *Scientific reports*. 7:45127.

Shawky A.M., Sallam W.S., Alwany M.A., Mohammad D.A., Mohamed S.Z. 2017. Photo identification of dugongs in Marsa Alam and Wadi El Gemal National Park, Egyptian coast of the Red Sea. *Al Azhar Bulletin of Science*. 28:1-10.

Smith C.E., Sykora-Bodie S.T., Bloodworth B., Pack S.M., Spradlin T.R., LeBoeuf N.R. 2016. Assessment of known impacts of unmanned aerial systems (UAS) on marine mammals: data gaps and

recommendations for researchers in the United States. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 4:31-44.

Sorice M.G., Shafer C.S., Scott D. 2003. Managing endangered species within the use/preservation paradox: understanding and defining harassment of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*). *Coastal Management*. 31:319-338.

Sweeney K.L., Helker V.T., Perryman W.L., LeRoi D.J., Fritz L.W., Gelatt T.S., Angliss R.P. 2015. Flying beneath the clouds at the edge of the world: using a hexacopter to supplement abundance surveys of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 4:70-81.

Torres L.G.T., Nieukirk S., Lemos L., Chandler T. 2018. Drone up! Quantifying whale behavior from a new perspective improves observational capacity. *Frontiers in Marine Science*. 5:319.

Urian K., Gorgone A., Read A., Balmer B., et al. 2015. Recommendations for photo-identification methods used in capture-recapture models with cetaceans. *Marine Mammal Science*. 31:298-321.

Velásquez-Mendoza C. 2018. Análisis de la distribución, uso de hábitat y conocimiento local del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en la laguna Conil, Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México. . *In* Facultad de Ciencias. Vol. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 72

Wong A.W., Bonde R.K., Siegal-Willott J., Stamper M.A., et al. 2012. Monitoring oral temperature, heart rate, and respiration rate of West Indian manatees (*Trichechus manatus*) during capture and handling in the field. *Aquatic Mammals*. 38:1-16.

Zietara A.M. 2017. Creating Digital Elevation Model (DEM) based on ground points extracted from classified aerial images obtained from Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *In* Department of Civil and Environmental Engineering. Vol. Master of Science Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. 98.

13. ANEXOS

13.1. Equivalencias para imagen en video y fotografía tomados a diferentes alturas, obtenidas usando método manual y calculadora GSD.

altura (m)	Método manual video				Método manual fotografía				Método automático fotografía			
	ancho (m)	alto (m)	cm/px	area (m ²)	ancho (cm)	alto (cm)	cm/px	area (m ²)	ancho (cm)	alto (cm)	cm/px	area (m ²)
100	154.20	86.74	4.016	13374.74	175.99	131.99	4.400	23229.14	175.00	131.25	4.375	22968.75
95	150.09	84.42	3.909	12671.16	163.16	122.37	4.079	19965.96	166.24	124.68	4.156	20726.8032
90	140.42	78.98	3.657	11090.51	156.06	117.04	3.901	18265.83	157.48	118.11	3.937	18599.9628
85	134.05	75.40	3.491	10107.19	150.47	112.86	3.762	16981.77	148.72	111.54	3.718	16588.2288
80	127.34	71.63	3.316	9120.64	138.94	104.21	3.474	14478.66	140.00	105.00	3.5	14700
75	116.56	65.56	3.035	7641.70	129.62	97.22	3.241	12601.58	131.24	98.43	3.281	12917.9532
70	108.22	60.87	2.818	6587.79	121.79	91.34	3.045	11124.33	122.48	91.86	3.062	11251.0128
65	101.78	57.25	2.651	5826.96	111.10	83.33	2.778	9257.83	113.76	85.32	2.844	9706.0032
60	94.14	52.96	2.452	4985.41	103.43	77.57	2.586	8023.14	105.00	78.75	2.625	8268.75
55	86.53	48.67	2.253	4211.96	95.52	71.64	2.388	6842.73	96.24	72.18	2.406	6946.6032
50	78.45	44.13	2.043	3461.78	86.90	65.18	2.173	5663.95	87.48	65.61	2.187	5739.5628
45	72.15	40.58	1.879	2927.91	77.55	58.17	1.939	4510.96	78.76	59.07	1.969	4652.3532
40	62.30	35.04	1.622	2183.18	68.24	51.18	1.706	3492.04	70.00	52.50	1.75	3675
35	54.25	30.52	1.413	1655.46	60.63	45.47	1.516	2756.60	61.24	45.93	1.531	2812.7532
30	48.18	27.10	1.255	1305.66	50.74	38.06	1.269	1931.15	52.48	39.36	1.312	2065.6128
25	37.82	21.27	0.985	804.48	40.78	30.58	1.019	1247.00	43.76	32.82	1.094	1436.2032
20	31.20	17.55	0.813	547.59	33.29	24.97	0.832	831.35	35.00	26.25	0.875	918.75
15	22.53	12.68	0.587	285.64	23.62	23.82	0.591	562.70	26.24	19.68	0.656	516.4032
10	15.06	8.47	0.392	127.61	13.66	10.24	0.341	139.85	17.48	13.11	0.437	229.1628
5	6.68	3.75	0.174	25.06	6.27	4.70	0.157	29.48	8.76	6.57	0.219	57.5532

13.2. Locación de cautiverio y características de los animales evaluados durante las pruebas de reacción al dron. Actualizado y adaptado de Ortega-Argueta y Castelblanco-Martínez (2018)

Instalación	Nombre	Sexo	Clase	Origen	Ingreso
Dolphin Discovery Puerto Aventuras	Pablo	Macho	Adulto	Silvestre	1998
	Julieta	Hembra	Adulto	Silvestre	05/01/2001
	Dorothy	Hembra	Adulto	Silvestre	09/05/2003
	Quijote	Macho	Adulto	Cautiverio	19/03/2008
	Conchis	Hembra	Juvenil	Cautiverio	15/08/2014
	Claudia	Hembra	Juvenil	Cautiverio	17/12/2014
	Nohoch	Macho	Cría	Cautiverio	20/03/2016
	Bombon	Hembra	Cría	Cautiverio	10/04/2016
Dolphin Discovery Puerto Aventuras Dreams	Roberto	Macho	Adulto	Silvestre	29/05/2009
	Lorenzo	Macho	Juvenil	Cautiverio	09/11/2012
Dolphin Discovery Isla Cozumel	Yoltzin	Macho	Adulto	Silvestre	22/08/2005
	Angel	Macho	Adulto	Silvestre	09/07/2007
	Edgar	Macho	Adulto	Cautiverio	09/09/2010
Dolphin Discovery Isla Mujeres	Sabina	Hembra	Adulto	Silvestre	07/09/2007
	César	Macho	Adulto	Silvestre	07/07/2007
	Fabián	Macho	Adulto	Cautiverio	2010
	cría	Hembra	Cría	Cautiverio	2017
Xcaret	Nohoch	Macho	Adulto	Silvestre	01/01/1999
	PomPom	Hembra	Adulto	Silvestre	01/01/1999
	Mach	Macho	Adulto	Silvestre	28/05/2005
	Buul	Macho	Adulto	Cautiverio	21/01/2009
	Baxal	Hembra	Adulto	Silvestre	01/02/2013
	Dayami	Hembra	Juvenil	Silvestre	22/07/2013
Xel-ha	Tunich	Hembra	Juvenil	Cautiverio	28/02/2012
	Nikte	Hembra	Juvenil	Cautiverio	20/06/2013

13.3. Resultados obtenidos durante bloques de registro de comportamiento para 25 manatíes en cautiverio.

Bloque de registro (15 min) previo al vuelo del dron

Individuo	Nombre	Lugar	ES (%)	EF (%)	D (%)	T. Obs (min)	# Res/min	FV (%)
1	H1IM	IM	5.05	0.00	94.95	14.5	0.3	3.22
2	CIM	IM	4.89	0.00	95.11	15.0	0.5	0.00
3	M1IM	IM	0.00	16.38	83.62	14.5	0.3	3.67
4	M2IM	IM	0.00	16.69	83.31	14.2	0.3	5.44
5	H1XH	XH	3.69	60.90	35.41	14.5	0.3	3.67
6	H2XH	XH	0.00	77.33	22.67	15.0	0.3	0.00
7	Roberto	PAD	24.95	23.45	51.60	7.8	0.4	47.89
8	Lorenzo	PAD	50.23	43.04	6.73	10.7	0.2	29.00
9	H1XC	XC	11.42	35.07	53.51	10.2	0.6	31.89
10	H2XC	XC	9.15	71.38	19.47	14.4	0.2	4.11
11	H3XC	XC	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	100.00
12	Nohoch	XC	0.00	77.22	22.78	15.0	0.3	0.00
13	Mach	XC	0.00	84.67	15.33	15.0	0.3	0.00
14	Buul	XC	18.11	70.89	11.00	15.0	0.2	0.00
15	Angel	C	46.46	15.49	38.05	8.7	1.0	41.89
16	Yoltzin	C	39.35	0.00	60.65	8.2	0.9	45.22
17	Edgar	C	11.95	0.00	88.05	8.4	0.8	44.22
18	H1PA	PA	40.06	13.06	46.88	11.2	0.4	25.11
19	I1PA	PA	45.56	0.00	54.44	4.5	0.9	70.00
20	I2PA	PA	44.53	3.10	52.37	9.1	0.8	39.11
21	H2PA	PA	0.00	0.00	100.00	10.0	0.5	33.11
22	I3PA	PA	20.92	35.51	43.57	7.7	0.8	49.00
23	I4PA	PA	34.05	47.72	18.23	6.2	0.6	58.56
24	Pablo	PA	2.31	0.00	97.69	9.4	0.7	37.56
25	I5PA	PA	83.48	0.00	16.52	9.2	0.2	38.78

ES (“Estacionario en superficie”), EF (“Estacionario en fondo”), D (“Desplazamiento”), FV (“Fuera de vista”). El FV (%) se calculó en base a los 15 minutos de registro. ES (%), EF(%), D(%) se calcularon con base en el tiempo de observación (T.Obs).

Bloque de registro (15 min) durante el vuelo del dron

Individuo	Nombre	Lugar	ES (%)	EF (%)	D (%)	T.Obs (min)	#Resp/min	FV (%)
1	H1IM	IM	0.00	0.00	100.00	14.80	0.20	1.33
2	CIM	IM	2.22	0.00	97.78	15.00	0.53	0.00
3	M1IM	IM	0.00	1.35	98.65	14.77	0.27	1.56
4	M2IM	IM	0.00	4.31	95.69	11.98	0.33	20.11
5	H1XH	XH	0.00	18.73	81.27	12.37	0.40	17.56
6	H2XH	XH	0.00	50.65	49.35	10.20	0.20	32.00
7	Roberto	PAD	82.16	14.24	3.60	11.58	0.26	22.78
8	Lorenzo	PAD	43.74	46.25	10.01	12.65	0.24	15.67
9	H1XC	XC	0.00	3.26	96.74	11.23	0.36	25.11
10	H2XC	XC	0.00	23.04	76.96	6.80	0.29	54.67
11	H3XC	XC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
12	Nohoch	XC	0.00	0.00	100.00	12.45	0.24	17.00
13	Mach	XC	11.84	15.71	72.45	8.17	0.12	45.56
14	Buul	XC	33.44	0.00	66.56	15.00	0.20	0.00
15	Angel	C	46.72	0.00	53.28	8.63	0.81	42.44
16	Yoltzin	C	6.78	9.63	83.59	7.62	0.66	49.22
17	Edgar	C	11.16	0.00	88.84	11.20	0.54	25.33
18	H1PA	PA	5.16	33.91	60.93	9.68	0.52	35.44
19	I1PA	PA	0.00	34.18	65.82	6.53	0.61	56.44
20	I2PA	PA	0.00	52.75	47.25	6.07	0.66	59.56
21	H2PA	PA	0.00	4.56	95.44	8.03	0.37	46.44
22	I3PA	PA	2.12	19.96	77.92	7.85	0.38	47.67
23	I4PA	PA	2.76	13.79	83.45	7.25	0.41	51.67
24	Pablo	PA	0.00	0.00	100.00	8.17	0.49	45.56
25	I5PA	PA	43.94	0.00	56.06	6.60	0.30	56.00

ES (“Estacionario en superficie”), EF (“Estacionario en fondo”), D (“Desplazamiento”), FV (“Fuera de vista”). El FV (%) se calculó en base a los 15 minutos de registro. ES (%), EF(%), D(%) se calcularon con base en el tiempo de observación (T.Obs).

Bloque de registro (15 min) después del vuelo del dron

Individuo	Nombre	Lugar	ES (%)	EF(%)	D(%)	T.Obs (min)	#Resp/min	FV (%)
1	H1IM	IM	0.00	0.00	100.00	15.00	0.33	0.00
2	CIM	IM	0.00	0.00	100.00	15.00	0.53	0.00
3	M1IM	IM	0.00	0.00	100.00	15.00	0.33	0.00
4	M2IM	IM	0.00	0.00	100.00	13.77	0.29	8.22
5	H1XH	XH	0.00	12.29	87.71	13.02	0.54	13.22
6	H2XH	XH	0.00	67.46	32.54	13.98	0.43	6.78
7	Roberto	PAD	95.08	4.92	0.00	4.40	0.68	70.67
8	Lorenzo	PAD	92.34	0.00	7.66	8.48	0.24	43.44
9	H1XC	XC	0.00	0.00	100.00	6.12	1.14	59.22
10	H2XC	XC	0.00	77.00	23.00	14.78	0.34	1.44
11	H3XC	XC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
12	Nohoch	XC	0.00	0.00	100.00	14.03	0.43	6.44
13	Mach	XC	0.00	36.36	63.64	0.18	0.00	98.78
14	Buul	XC	0.00	54.55	45.45	0.18	0.00	98.78
15	Angel	C	25.19	0.00	74.81	6.42	0.31	57.22
16	Yoltzin	C	32.02	0.00	67.98	5.52	0.73	63.22
17	Edgar	C	2.43	0.00	97.57	8.92	0.34	40.56
18	H1PA	PA	5.56	53.33	41.11	15.00	0.53	0.00
19	I1PA	PA	12.00	42.44	45.56	15.00	0.53	0.00
20	I2PA	PA	1.14	57.89	40.96	14.57	0.55	2.89
21	H2PA	PA	0.86	0.00	99.14	7.77	0.90	48.22
22	I3PA	PA	0.95	0.00	99.05	6.98	1.15	53.44
23	I4PA	PA	0.95	0.00	99.05	7.03	0.71	53.11
24	Pablo	PA	0.00	0.00	100.00	4.28	1.40	71.44
25	I5PA	PA	59.12	0.00	40.88	2.28	0.44	84.78

ES (“Estacionario en superficie”), EF (“Estacionario en fondo”), D (“Desplazamiento”), FV (“Fuera de vista”). El FV (%) se calculó en base a los 15 minutos de registro. ES (%), EF(%), D(%) se calcularon con base en el tiempo de observación (T.Obs).

13.4. Formato de encuesta de detección de manatíes

Encuentra al manatí :D

Gracias por participar.

Esta prueba forma parte del proyecto mi tesis de maestría: "USO DE DRONES COMO HERRAMIENTA AUXILIAR EN EL ESTUDIO Y CONSERVACIÓN DE MANATÍES ANTILLANOS EN EL CARIBE MEXICANO" y está enmarcado dentro del PROGRAMA DE MONITOREO DE MEGAFaUNA ACUÁTICA DEL CARIBE (PROMMAC), perteneciente a CONACYT y la Universidad de Quintana Roo.

A continuación se presentan imágenes correspondientes a diferentes locaciones en condiciones variadas. Por favor, seleccionar la opción correspondiente al número de manatíes que se visualiza en las fotos presentadas. También te pedimos responder un breve cuestionario antes. Gracias!

Sarah Landeo Yauri
Estudiante de maestría
Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



Nombre y Apellido

Tu respuesta

Organización y País de residencia

Tu respuesta

Desea permanecer anónimo?

- Sí
- No

Tiene alguna experiencia de trabajo o investigación con manatíes?

- Sí
- No

En caso tenga alguna experiencia, por favor anotar con cuantos años de experiencia cuenta y lugares en los que trabajó con manatí.

Tu respuesta

Tienes alguna experiencia que involucre detección de manatíes mediante censos aéreos o drones?

- sí
- no

Tienes dificultad para ver algún color o gama de colores?

- sí
- no

¿Cuántos manatíes ves en las siguientes fotos?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Foto 1	<input type="radio"/>								
Foto 2	<input type="radio"/>								
Foto 3	<input type="radio"/>								
Foto 4	<input type="radio"/>								
Foto 5	<input type="radio"/>								
Foto 6	<input type="radio"/>								
Foto 7	<input type="radio"/>								
Foto 8	<input type="radio"/>								
Foto 9	<input type="radio"/>								
Foto 10	<input type="radio"/>								
Foto 11	<input type="radio"/>								
Foto 12	<input type="radio"/>								

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Foto 13	<input type="radio"/>								
Foto 14	<input type="radio"/>								
Foto 15	<input type="radio"/>								
Foto 16	<input type="radio"/>								
Foto 17	<input type="radio"/>								
Foto 18	<input type="radio"/>								
Foto 19	<input type="radio"/>								
Foto 20	<input type="radio"/>								
Foto 21	<input type="radio"/>								
Foto 22	<input type="radio"/>								
Foto 23	<input type="radio"/>								
Foto 24	<input type="radio"/>								

Por favor, sugiere a alguien que podría estar interesado en resolver este cuestionario

Tu respuesta

ENVIAR

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

13.5 . Manatíes observados durante vuelos de detección realizados. De arriba hacia abajo: Madre con cría en zona de la Barra (Santuario del Manatí), adulto en ojo de agua de laguna Caapechén (RB Sian Ka'an) y adulto en zona cercana a Punta Allen (RB Sian)



13.6. Formato de entrevista a operadores turísticos

ENCUESTA DIRIGIDA A OPERADORES TURISTICOS

Fecha: _____ Zona de trabajo: _____

Edad: _____

Cuánto tiempo lleva trabajando en esta zona de la Reserva?:



Según tu experiencia, por favor responde las siguientes preguntas. La información que nos des nos servirá para aprender un poco más sobre los manatíes que viven en la Reserva de Biósfera de Sian Ka'an y sobre el trabajo de observación turística que se realiza aquí

1. ¿Cuántos manatíes se ven normalmente durante un paseo de observación en bote?
 Uno de 2 a 3 de 4 a 5 de 6 a más
2. ¿Considera que se ha incrementado el número de manatíes respecto a hace cinco años?
 Si No No estoy seguro/a

3. ¿En qué lugares se ven más manatíes?

Respuesta:

4. ¿En qué época del año se ven más manatíes?
 Secas Lluvias Nortes
5. ¿En qué época del año se ven más adultos con crías?
 Secas Lluvias Nortes
6. ¿Cuántos manatíes calcula que hay en la zona donde trabaja?
 De 1 a 10 de 11 a 20 de 21 a 30 de 31 a mas
7. Aproximadamente, ¿desde qué distancia se realiza la observación de animales?
 1 a 5 metros 6 a 10 metros 11 a 20 metros más de 20 metros
8. Durante la observación de manatíes desde la embarcación, en la mayoría de las ocasiones los manatíes:
 Se acercan son indiferentes se alejan

9. ¿Considera que hay algún factor que dificulta el que se pueda ver a los animales? ¿Cual?

Respuesta:

10. Si desea, déjenos un comentario adicional:

Muchas gracias por su tiempo

13.7. Imágenes de los videos tomados con fines de registro de interacción bote -manatí



Caapechén (N 20°6'23.04" O 87°29'41.64"), 16 Octubre, 8:41 am. 2 individuos.



Caapechén (N 20°6'23.04" O 87°29'41.64"), 20 de Octubre, 10:39 am. 3 individuos (sólo un adulto en foto)

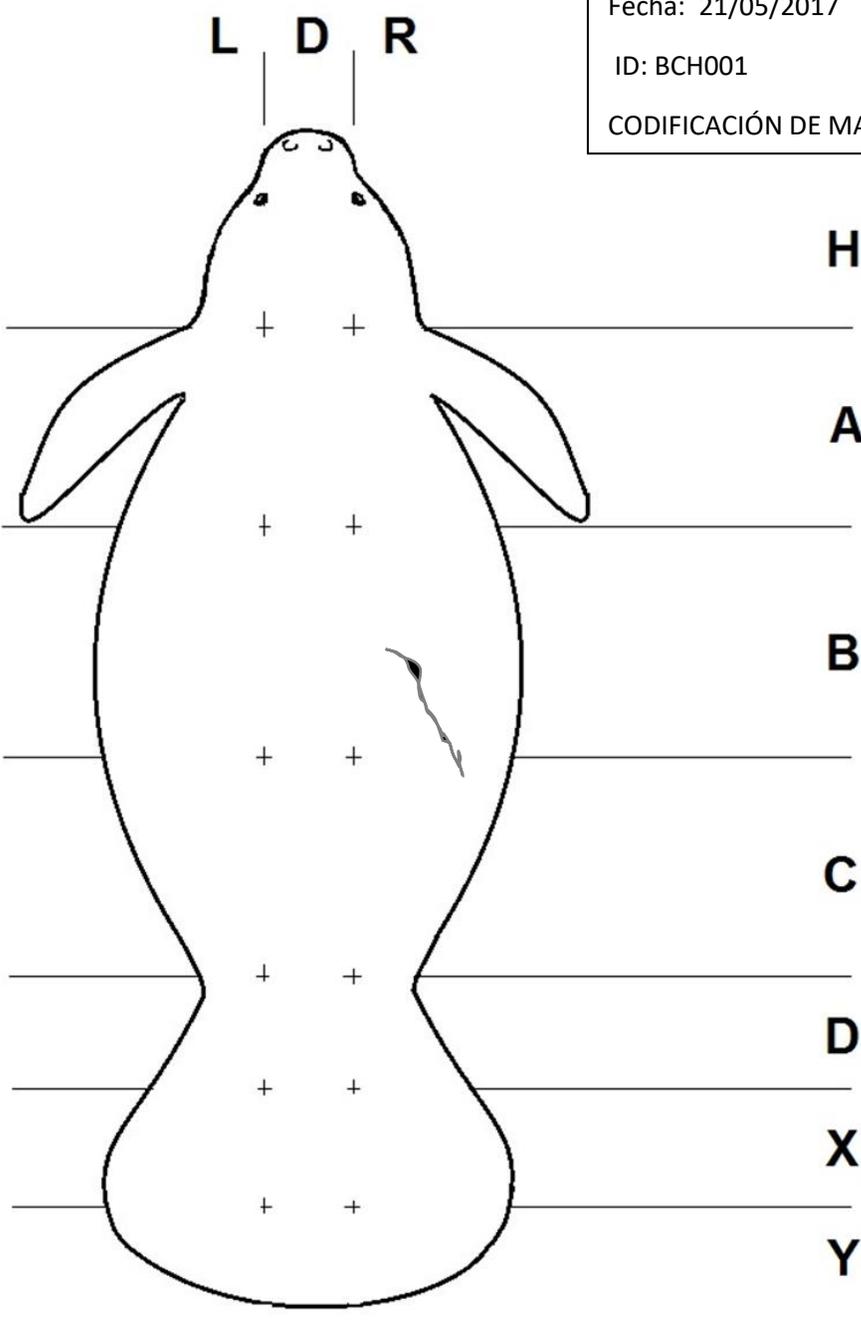


Boca Paila (N 20°0'27.72" O 87°29'26.879"), 17 Octubre, 9:47 am. 3 individuos.



Boca Paila (N 20°0'27.72" O 87°29'26.879"), 19 de Octubre, 16:53 pm. 4 individuos.

13.8: Formato de registro y codificación para fotoidentificación (Adaptado de Beck & Reid 1995).

 <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 24px;">L D R</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">H</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">A</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">B</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">C</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">D</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">X</p> <p style="text-align: right; font-weight: bold; font-size: 24px;">Y</p>	<p>Fecha: 21/05/2017 Lugar: Bahía Chetumal</p> <p>ID: BCH001 Sexo: Indeterminado</p> <p>CODIFICACIÓN DE MARCAS: SRB1MGL</p>
<p>1. TIPO DE MARCA:</p> <p>S: Cicatriz M: Mutilación D: Deformidad N: Corte Quirúrgico</p>	<p>2. REGIÓN:</p> <p>L: Izquierda D: Dorsal R: Derecha V: Ventral</p> <p>3. POSICIÓN:</p> <p>F: Aleta pectoral H: Cabeza A: Tronco anterior B: Tronco medio C: Tronco posterior D: Pedúnculo X: Aleta caudal anterior Y: Aleta caudal posterior</p> <p>4. NUMERO:</p> <p>1: Única 2: 2 a 3 3: 4 a más</p>
<p>5. TAMAÑO:</p> <p>L: Grande M: Mediana S: Pequeña</p>	<p>6. COLOR:</p> <p>G: Oscuro W: Claro</p> <p>7. FORMA:</p> <p>B: Amorfa L: Lineal</p>

13.9. Catálogo para foto-identificación y monitoreo a largo plazo

Photo-identified manatees (Belize 2015-2017)



Points at : Main features (→), small features (→)

BZ001

First on: 12/08/15

Last on: 12/08/15

First site: TA

Last site: TA

Mark code: MLY15 ,MRY15

Status : complete

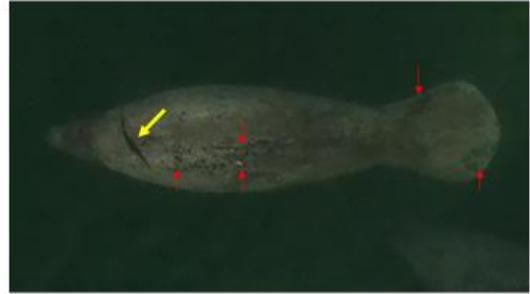
Sex: Unknown

Name: Ichi

Small features: no



BZ002
First on: 13/06/16
Last on: 30/06/16
First site: SGC
Last site: SGC
Mark code: SDA1LGL
Status : complete
Sex: unknown
Name: George
Small features: yes



BZ003
First on: 22/06/2016
Last on: 14/07/2017
First site: SGC
Last site: SGC
Mark code: SDX1SWL
Status : complete
Sex: unknown
Name: Titan
Small features: yes



BZ004

First on: 23/06/16

Last on: 23/06/16

First site: SGC

Last site: SGC

Mark code: SRB1MWL, SDX1MWL

Status : complete

Sex: unknown

Name: Twice

Small features: no



BZ005

First on: 29/06/2016

Last on: 29/06/2016

First site: SGC

Last site: SGC

Status : Incomplete

Sex: Unknown

Name: Bits

Small features: no



BZ006

First on: 30/06/2016

Last on: 30/06/2016

First site: SGC

Last site: SGC

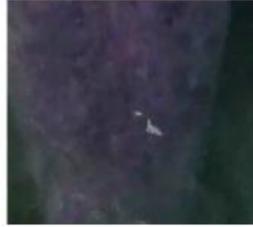
Mark code: SRC2SWB

Status : Incomplete

Sex: Unknown

Name: Drip

Small features: yes



BZ007

First on: 01/07/2016

Last on: 01/07/2016

First site:

Last site:

Mark code: SLC1LWL, SDC4LWL

Status : Incomplete

Sex: Unknown

Name: Trail

Small features: no



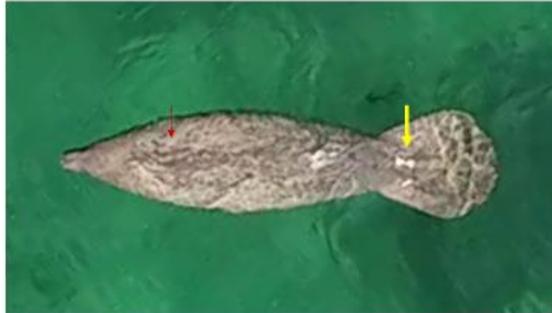
BZ008
First on: 01/07/2016
Last on: 01/07/2016
First site:
Last site:
Mark code: SDC2MWL
Status : Incomplete
Sex: Unknown
Name: Tao
Small features: no



BZ009
First on: 14/07/2016
Last on: 14/07/2016
First site: TA
Last site: TA
Mark code: MDY2S
Status : Incomplete
Sex: Unknown
Name: Nip
Small features: no



BZ010
First on: 20/01/2017
Last on: 20/01/2017
First site: TA
Last site: TA
Mark code: SDD2SWB
Status : Complete
Sex: Unknown
Name: Cronos
Small features: no



BZ011
First on: 28/01/2017
Last on: 28/01/2017
First site: TA
Last site: TA
Mark code: SDD1SL
Status : Incomplete
Sex: Unknown
Name: Raya
Small features: no



BZ012

First on: 08/07/2017

Last on: 14/07/2017

First site: SGC

Last site: SGC

Mark code: SLB1SWL

Status : Complete

Sex: Unknown

Name: Nerea

Small features: yes



BZ013

First on: 10/07/2017

Last on: 10/07/2017

First site: SGC

Last site: SGC

Mark code: MRX1S, MRY1S

Status : Complete

Sex: Unknown

Name: Canoli

Small features: no



BZ014
First on: 13/07/2017
Last on: 13/07/2017
First site: SGC
Last site: SGC
Mark code: MRY1S
Status : Incomplete
Sex: Unknown
Name: Chomp
Small features: yes



BZ015
First on: 13/07/2017
Last on: 13/07/2017
First site: SGC
Last site: SGC
Mark code: MLY1S
Status : Incomplete
Sex: Unknown
Name: Groot
Small features: yes

