



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**  
**ÁREA INTERDISCIPLINARIA DE CIENCIAS DEL MAR**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**

**TESIS**

**ESTRUCTURA POBLACIONAL DE MANTA GIGANTE (*Mobula birostris* WALBAUM, 1792) EN BAHÍA DE BANDERAS Y EL ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO, MEXICO**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
BIÓLOGO MARINO**

Presenta:  
**PABLO SANTIAGO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ**

Director:  
**DR. CARLOS ARMANDO SÁNCHEZ ORTIZ**

**LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, NOVIEMBRE 2017**



**UABCS**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

DEPARTAMENTO ACADÉMICO  
DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

Gaceta Universitaria 11/12/2016



Fecha: 14/11/2018

**DR. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA,  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS,  
PRESENTE.**

Los abajo firmantes, Miembros de la Comisión Revisora del TRABAJO DE TESIS TERMINADO titulado:  
"ESTRUCTURA POBLACIONAL DE MANTA GIGANTE (*Mobula birostris* WALBAUM, 1792) EN BAHÍA DE  
BANDERAS Y EL ARCHIPIÉLAGO DE REVILLAGIGEDO, MÉXICO"; que presenta el (la) pasante de la Carrera de Biólogo  
Marino C. PABLO SANTIAGO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ, comunicamos a usted, que otorgamos nuestro **voto**  
**aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su defensa a fin de obtener el título de Biólogo Marino.

Dr. Carlos A. Sánchez Ortiz

Nombre Completo

[Firma]  
Firma

PRESIDENTE

Gerardo González Lez Banda

Nombre Completo

[Firma]  
Firma

SECRETARIO

James Kotchem Magia

Nombre Completo

[Firma]  
Firma

VOCAL

Dr. Carlos A. Sánchez Ortiz

Nombre Completo

[Firma]  
Firma

DIRECTOR DE TESIS

C.c.p. Dirección de Servicios Escolares.  
C.c.p. Interesado  
C.c.p. Archivo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
BAJA CALIFORNIA SUR  
**RECIBIDO**  
14 NOV 2018  
CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS  
FIRMA \_\_\_\_\_ HORA 1:40

Carretera al Sur Km. 5.5  
La Paz, BCS.

Conmutador: 12 388 00 Ext. 4100  
E-mail: biolmar@uabcs.mx

Apartado postal 19-B  
Código postal 23080

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California Sur, mi *alma mater*, por brindarme el espacio de aprender y formarme junto a increíbles profesores, amigos e investigadores. El lugar donde pude “empezar de nuevo”

Al Proyecto Fauna Arrecifal (PFA) y especialmente al Dr. Carlos Sánchez por todas sus enseñanzas, consejos y grandes momentos junto a todo el equipo PFA. Ram, Beto, Toño, Yamaly, Diego, Zvy, Beni...fue siempre un gran placer bucear con todos ustedes.

A Josh Stewart y todo el increíble equipo del Proyecto Manta – Pacífico Mexicano. Sin duda alguna me quedo corto con las palabras para agradecerles los increíbles momentos vividos en Yelapa. Selva, música, cascadas, noches estrelladas y mantas...creo que no hay mejor descripción del paraíso.

Agradezco profundamente a mis papas y hermanos que, a pesar de la distancia, siempre me hicieron sentir acompañado. Ustedes más que nadie sabe cuán difícil es salir de tu país en busca de los sueños, pero henos aquí, cada uno viviendo su sueño.

A todas las increíbles personas que conocí en este tiempo en México. Todos ustedes hicieron que este sueño fuera realidad. ¡GRACIAS!

*Dedico todo este trabajo a la persona que nunca se cansó de luchar por nosotros y sacarnos adelante. La persona más fuerte que he podido conocer, mi guerrera, mi compañera en esta aventura llamada México, y quién siempre me apoyó en todas mis locuras. Eres la persona más importante en mi vida.*

*Te debo mi vida, mi estudio, mis pasiones y mis fortalezas. Gracias por todo lo que has hecho por nosotros, y prometo nunca defraudarte...no importa la distancia.*

*¡A ti mi chaparrita, mi mamá, mi compañerita, INFINITAS GRACIAS! Este trabajo es solo tuyo y mío.*



<b>ÍNDICE</b>	
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>12</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>19</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>20</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución global de las distintas especies de manta gigante (Tomada de Marshall 2008, editada por Ruíz, 2015). **9**
- Figura 2.** Patrón de coloración en *M. birostris*. **11**
- Figura 3.** Área de registros de *Mobula birostris* marcadas con telemetría satelital en Bahía de Banderas, Jalisco y Archipiélago de Revillagigedo (Stuart *et al.*, 2016). **12**
- Figura 4.** Registros del comportamiento de inmersión de *Mobula birostris* marcadas con telemetría satelital en Revillagigedo (azul) y Bahía de Banderas (verde). Gráfico DataMares: <http://datamares.ucsd.edu/esp/rastreando-a-las-mantas-en-el-pacifico-de-mexico/> **13**
- Figura 5.** Bahía de Banderas (Nayarit-Jalisco). Se observa la batimetría y la región de observación. **20**
- Figura 6.** Archipiélago de Revillagigedo. Ubicación de las islas: A, Clarión; B, Roca Partida; C, Socorro; D, San Benedicto. Escala de A-D igual a 2 km (Olvera, 2015). **22**
- Figura 7.** Ejemplo de código de identificación (ID manta) de acuerdo al protocolo de Manta Trust. **23**
- Figura 8.** Equipo de fotometría láser usado para estimar los tamaños de las mantas gigantes en el Archipiélago de Revillagigedo. Foto: Joshua Stewart. **25**
- Figura 9.** Cuadrícula fotografiada con sus respectivas medidas. **26**
- Figura 10.** Posición del observador con respecto a la manta para la proyección de los láseres. Foto: Joshua Stewart **27**
- Figura 11.** Registros de *Mobula birostris*, Bahía de Banderas (2014-2016) **28**
- Figura 12.** Ancho de disco (AD) de *Mobula birostris*, Bahía de Banderas (2014-2016) **29**
- Figura 13.** Individuos de *Mobula birostris* de Bahía Banderas con daños o heridas de origen antropogénico producidas por hélices de embarcaciones, líneas o redes de pesca. **30**
- Figura 14.** Individuo de *Mobula birostris* de Bahía Banderas con heridas de origen natural producidas posiblemente por mordedura de tiburón debido a la cicatriz con forma de media luna. **31**
- Figura 15.** Porcentaje de individuos por sexo de *Mobula birostris* con daños en Bahía de Banderas. **31**
- Figura 16.** Machos *Mobula birostris*. **32**
- Figura 17.** Registros de *Mobula birostris*, Archipiélago de Revillagigedo (2012-2015): A) Proporción de morfotipos; B) Proporción de sexos; y C) Proporción de sexos respecto al morfotipo registrado. **33**

<b>Figura 181.</b> Individuos de <i>Mobula birostris</i> , Archipiélago de Revillagigedo con heridas de origen antrópico (A) y de origen natural (B).	<b>34</b>
<b>Figura 19.</b> Método para cuantificar la cantidad de distorsión del gran angular de la cámara.	<b>35</b>
<b>Figura 20.</b> Gráfica de las medidas esperadas, sin distorsión, de una imagen (en centímetros) si fuese tomada con un lente plano contra las medidas reales de la misma imagen distorsionada por un lente gran angular.	<b>35</b>
<b>Figura 21.</b> Fotografías de mantas que no fueron usadas para estimar la tallas los individuos de <i>M. birostris</i> .	<b>36</b>
<b>Figura 22.</b> Proporción o rango del disco (RD) respecto al sexo (hembra, macho) de <i>M. birostris</i> .	<b>37</b>
<b>Figura 23.</b> Modelo lineal para el largo y ancho de disco de <i>Mobula birostris</i> .	<b>38</b>
<b>Figura 24.</b> Ancho de disco según el sexo de los individuos de <i>Mobula birostris</i> .	<b>39</b>
<b>Figura 25.</b> Largo de disco según el sexo de los individuos de <i>Mobula birostris</i> .	<b>39</b>
<b>Figura 26.</b> Principales regiones de surgencias (verde) que coinciden con las agregaciones más grandes de mantarrayas.	<b>42</b>
<b>Figura 27.</b> Manta gigante del archipiélago de Revillagigedo con el AD más grande registrado. M34	<b>46</b>

## Tablas

<b>Tabla I.</b> Catálogos de foto-identificación según Clark (2001). Catálogo publicado*, sin publicar ** e información por conversación personal***.	<b>15</b>
---	-----------

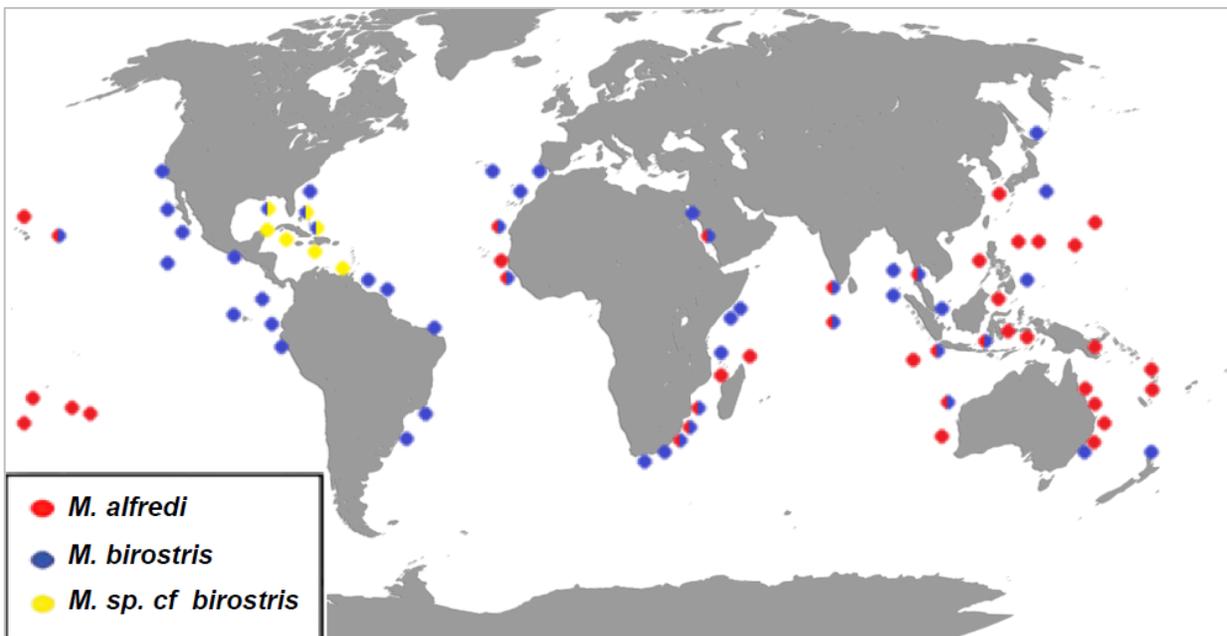
## RESUMEN

La Manta Gigante *Mobula birostris* es un elasmobranquio zooplanctívoro que habita en los mares tropicales y es altamente carismática debido a la interacción que puede presentar con el humano. A pesar de esto, se desconoce gran parte de su biología, distribución y ecología. En México, es bien estudiada la población de *M. birostris*, del Archipiélago de Revillagigedo (AR) y casi nulo los individuos de Bahía de Banderas (BB). En la temporada 2014-2016 se llevaron a cabo censos visuales en BB, contando el número de mantas en la zona, tomando fotografías de la parte ventral de los individuos, estimando el ancho de disco de cada uno. Usando la foto-id se pudo apreciar características como: sexo, coloración, madurez sexual y heridas/cicatrices presentes en alguna parte del cuerpo. Estas características permitieron: generar una línea base de la estructura poblacional de las mantas de BB y hacer comparaciones entre esta población y AR. Además, en AR se implementó por primera vez en *M. birostris* la fotometría láser para estimar el tamaño de los individuos. Se registraron 140 individuos en BB con un tamaño promedio de 4.5 mts, de los cuales el 51% fueron hembras, 35% machos. El 21% de los individuos presentó daños en alguna parte del cuerpo. En AR la proporción sexual y el tamaño de los individuos fue similar a BB, sin embargo, en AR únicamente el 11% de los individuos presentó herida alguna. En este estudio se determinó que BB es un nuevo hot-spot de *M. birostris* en el Pacífico Mexicano, y se demostró la importancia de las ANP's para la salud de las poblaciones de Manta gigante.

## INTRODUCCIÓN

Para un adecuado manejo y conservación de las especies es necesario entender la biología y ecología básica. En elasmobranquios el crecimiento es lento, con edad de madurez tardía y con fecundidad baja, conocer como las poblaciones son afectadas por los impactos antrópicos (i.e. pesca) es relevante, ya que la recuperación de poblaciones diezgadas es lenta y difícil (Deakos *et al.*, 2011).

Las mantas y rayas diablo, son un taxa de elasmobranquios pelágicos que se alimentan por filtración de zooplancton similar al tiburón ballena y algunas ballenas misticetas (Couturier *et al.*, 2012). Las mantas pertenecen a la familia Myliobatidae y subfamilia Mobulinae, que incluye al género: *Mobula* Rafinesque, 1810. Particularmente hay dos mantas gigantes reconocidas *Mobula birostris* (Walbaum, 1792) y *Mobula alfredi* (Kreffft, 1868) (White *et al.* 2018) y sus individuos son de gran tamaño llegando a medir más de 6 metros con reportes de hasta 9 metros (Couturier *et al.*, 2012). Ambas especies se distribuyen en mares tropicales y cálidos entre 40°N y 40°S (Fig. 1), entre temperaturas de 20 a 26°C (Clark, 2001, Canese *et al.*, 2011, Couturier *et al.*, 2015).



**Figura 1.** Distribución global de las distintas especies de manta gigante (Tomada de Marshal 2008, editada por Ruíz, 2015).

En la actualidad, en México *M. birostris* se observa en el océano Pacífico en el

archipiélago de Revillagigedo (Castro-Aguirre y Balart, 2002), Bahía Banderas, Jalisco y Nayarit (Moncayo-Estrada, 2006, González-Díaz, 2013) y con registros muy anecdóticos en el Golfo de California (antes eran abundantes).

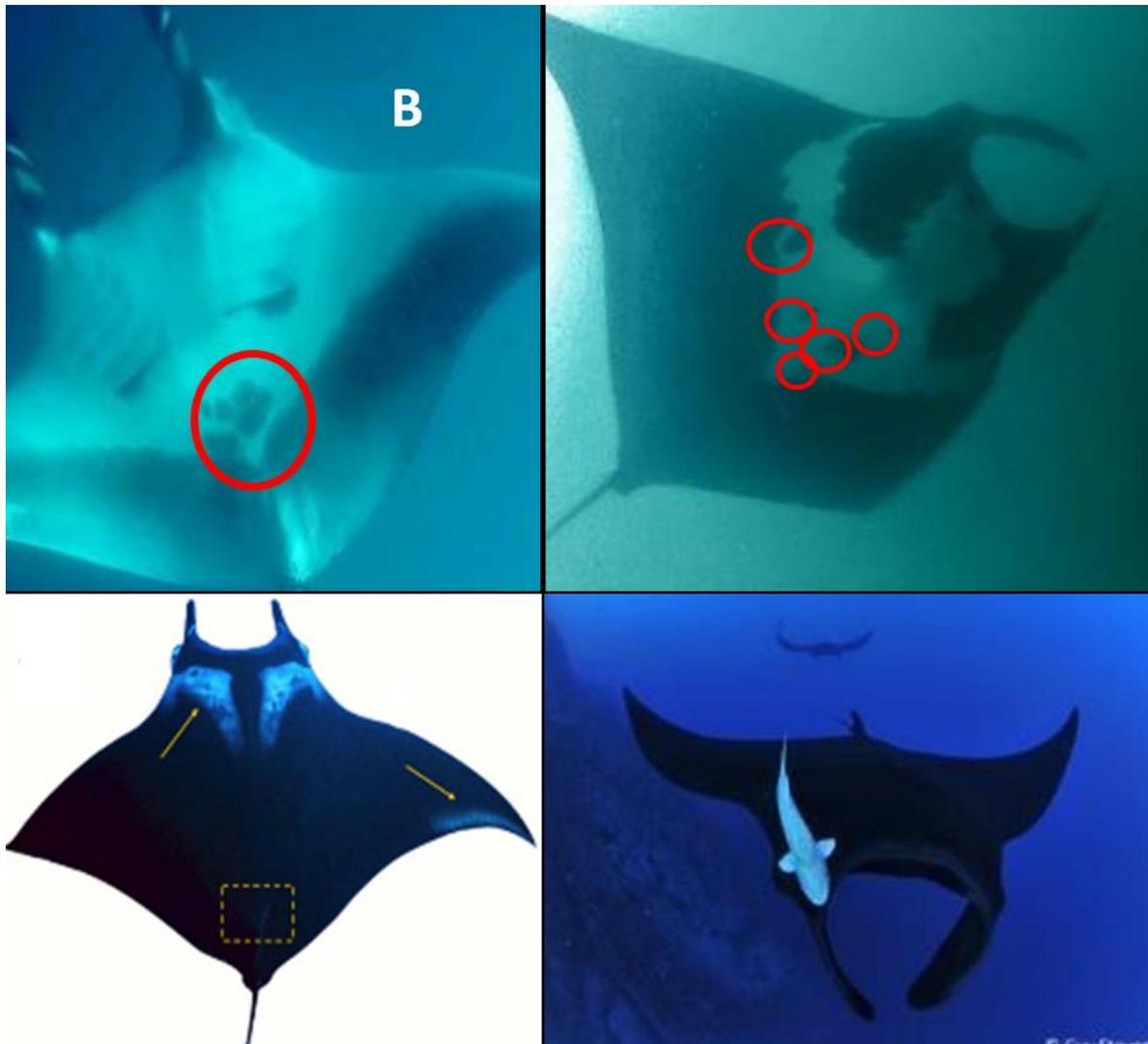
En general los individuos son totalmente oscuros (color carbón) u oscuros con manchas blancas. Estas últimas se presenta en la superficie dorsal y ventral, extendiéndose en los bordes posteriores de las aletas pectorales y por la aleta pectoral. La manchas de la superficie ventral presentan un patrón de pigmentación único, el cual es empleado para la diferenciación individual usando foto-identificación (Kitchen-Wheeler, 2010) (Fig. 2). *M. birostris* presenta en la superficie dorsal parches blancos y en medio una línea negra (morfotipo chevrón). Las marcas en los hombros son distintivas y aproximadamente de forma triangular. En algunos individuos este patrón dorsal está ausente, siendo totalmente negro (Fig. 2-D). El borde anterior de los hombros corre medialmente desde el espiráculo en una línea recta paralela al borde de la boca (Marshall, 2008).

En México desde 2006 se prohibió la pesca de las mantas gigantes bajo el decreto de la norma NOM-029-PESC-2006, que se refiere a la pesca responsable de tiburones y rayas. Esta norma establece que en ningún caso se podrán capturar y retener individuos de manta gigante, ya sean vivos, muertos, enteros o alguna de sus partes y, en consecuencia, no podrán ser objetivo de consumo humano ni comercialización (DOF, 2006).

A nivel mundial, en 2013 las dos especies de manta (*M. birostris* y *M. alfredi*) fueron ingresadas al Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies amenazadas de fauna y flora silvestres, denominado CITES. Este Apéndice II incluye especies que no necesariamente están en peligro de extinción, pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente el comercio. De esta forma, la exportación de cualquier espécimen de manta gigante requerirá la concesión y presentación previa de un permiso de exportación (CITES, 2013).

A pesar de los intentos internacionales y nacionales de protección de *M. alfredi* y *M. birostris*, se continúa con dificultades respecto al comercio en el mercado ilegal. Sigue presentándose captura incidental, incluso en lugares donde no hay pesca directa sobre las mantas gigantes. Su gran tamaño, comportamiento gregario, uso predecible de hábitat y la falta de evitación (no temor) humano, son unas de las razones del porque las mantas gigantes

son afectadas por las actividades humanas (p.e. redes de pesca, pesca directa, golpes con pangas y propela) (Couturier *et al.*, 2012).

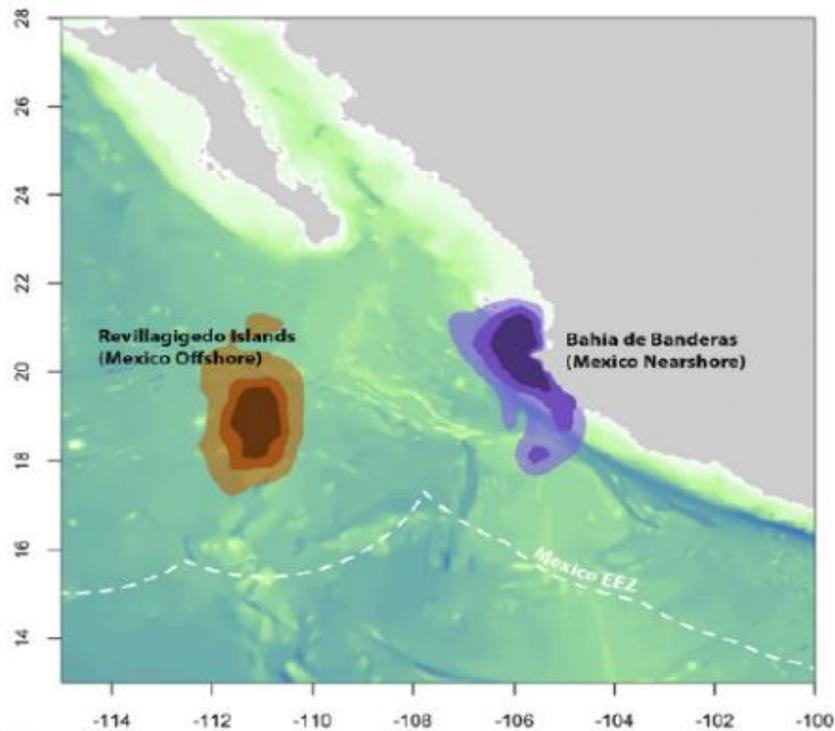


**Figura 2.** Patrón de coloración en *M. birostris*: superficie ventral (A, B) y dorsal (C, D). Círculos rojos indican las manchas ventrales que son distintas entre individuos; flechas amarillas (C) indican las manchas blancas supra-branquiales que caracterizan al morfotipo chevrón.

Como resultado de la presión pesquera de la pesca directa y la pesca incidental, ciertas poblaciones de mantas han disminuido drásticamente en países como Mozambique, India, Indonesia, Filipinas, México y Perú. En México, particularmente en el Golfo de California, se presume albergaba la mayores población de manta gigante, pero desde los 60's hasta los 90's se pescó intensamente desde el norte del Golfo (grandes islas) hasta Cabo San Lucas, y en este siglo se llevó a sus poblaciones muy cerca de la extirpación total. De hecho las localidades

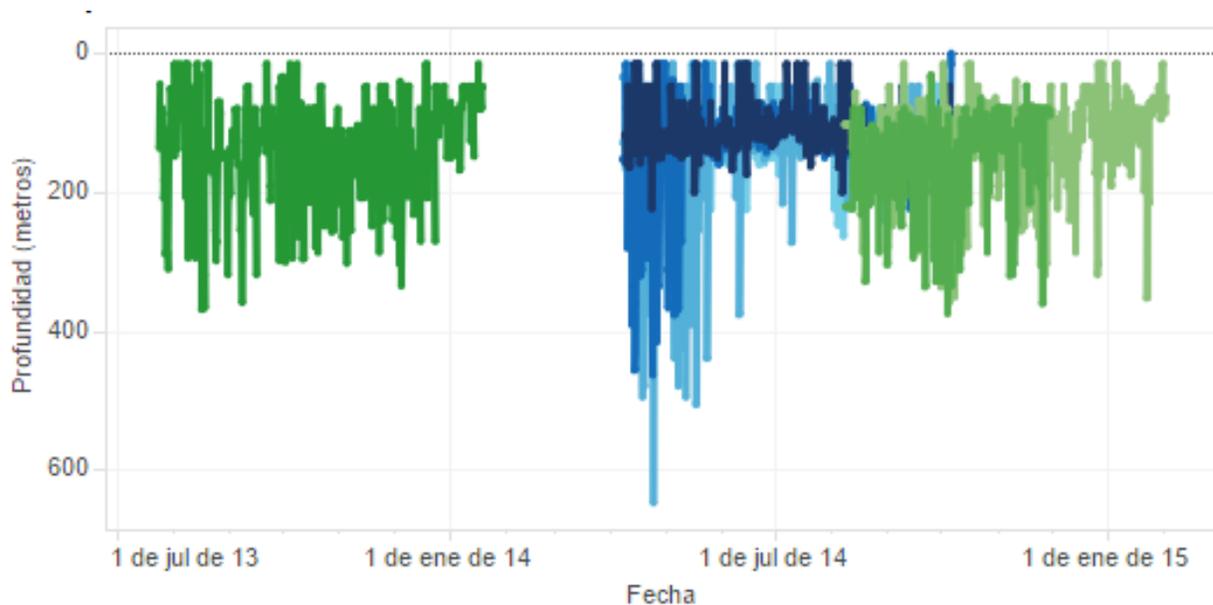
de Loreto, La Paz y Los Cabos en BCS, era común observarlas y se hicieron famosa para el turismo de buceo, por desgracia en la actualidad su observación es anecdótica (Sáenz-Arroyo *et al.*, 2006, C. Sánchez, *com. pers.*).

Respecto a sus movimientos migratorios, por su carácter pelágico se creía que los mobulidos presentan migraciones relativamente grandes, en asociación con la disponibilidad del alimento estacional, patrones de circulación de corrientes, temperatura del agua de mar y comportamiento de apareamiento (Sleeman *et al.*, 2007), viajando de un área productiva a otra, y agregándose en lugares específicos (Notarbartolo-di-Sciara, 1988, Dewar *et al.*, 2008, Couturier *et al.*, 2012). Sin embargo, Stewart *et al.* (2016) con telemetría satelital, isótopos estables y análisis genéticos encontraron que *M. birostris* del Archipiélago de Revillagigedo y Bahía Banderas, Jalisco, en escala temporal corta (años) parece exhibir movimientos restringidos, con estructura poblacional detectable a escala espacial fina. Tanto las mantas gigantes marcadas en el Indo-Pacífico y el Pacífico Mexicano, no mostraron largos intervalos migratorios, sin solapamiento en rangos geográficos (Fig. 3).



**Figura 3.** Área de registros de *Mobula birostris* marcadas con telemetría satelital en Bahía de Banderas, Jalisco y Archipiélago de Revillagigedo. Sombras de café claro a oscuro representan contornos de probabilidad de ocurrencia al 50%, 75%, 95%. El área de color café oscuro es donde las mantas marcadas ocurrieron un 95% de su tiempo (Stewart *et al.*, 2016).

Adicionalmente, Stewart y Aburto-Oropeza (2015), encontraron que las mantas aparte de mostrar un alto grado de afinidad al sitio, por el registros de dos “subpoblaciones” (Revillagigedo y Bahía de Banderas) teniendo similares migraciones verticales con tiempos prologados en aguas profundas, con un individuo que llego a 650 m de profundidad (Revillagigedo) y otro hasta 380 m de profundidad (Bahía de Banderas). El tiempo empleado en sus migraciones verticales es en gran porción dentro del límite superior de la termoclina, donde el zooplancton se agrega (Stewart, *et al.*, 2016) (Fig. 4).



**Figura 4.** Registros del comportamiento de inmersión de *Mobula birostris* marcadas con telemetría satelital en Revillagigedo (azul) y Bahía de Banderas (verde). Gráfico DataMares: <http://datamares.ucsd.edu/esp/rastreando-a-las-mantas-en-el-pacifico-de-mexico/>

En particular, los desplazamientos y/o residencia en conjunto con el patrón ventral de manchas se emplean como “huella digital” individual. La utilización de métodos de fotoidentificación y fotometría láser, aparte de ser métodos no invasivos, aportan información de calidad para estudios de ecología, estructura poblacional y comportamiento (Couturier *et al.*, 2012). Por ello, este estudio se dirigió a conocer cuál es la estructura poblacional (individuos, sexo, tallas) de *Mobula birostris* en el Archipiélago de Revillagigedo y en Bahía de Banderas, para generar información básica y así apoyar los planes de manejo de las últimas áreas en México donde que existen poblaciones de esta especie.

## ANTECEDENTES

**Foto-identificación (Foto-ID).** Involucra la toma de fotografías digitales de las características distintivas del individuo/especie a reconocer e identificar, facilitando el seguimiento individual de una población en el tiempo (*i.e.* monitoreo poblacional). Se ha empleado en estimaciones poblacionales de vertebrados (Graham y Roberts, 2007) como en historia de vida (Brault y Caswell, 1993), esperanza de vida (Langtimm *et al.*, 2004), patrones migratorios (Calambokidis *et al.*, 1996) y relaciones sociales (Bejder *et al.*, 1998). También en la evaluación biológica de elasmobranchios como en el tiburón nodriza *Ginglymostoma cerratum* (Castro y Rosa, 2005), tiburón blanco *Carcharodon carcharias* (Domeier y Nasby-Lucas, 2007), tiburón toro *Carcharodon taurus* (Bansemer y Bennett, 2008) y tiburón ballena *Rhincodon typus* (Speed *et al.*, 2008).

La mayoría de la información sobre ecología y movimientos en manta rayas se obtuvo con foto-ID (Couturier *et al.*, 2011). Esta actividad la iniciaron los buzos recreativos para la identificación de mantas y posteriormente la técnica de uso para el estudio poblacional (Clark, 2001). Uno de los primeros catálogos fotográficos de mantas se ubica en las islas Yaeyama, Japón por Takashi Itoh en los 80's, el cual para 2001 contaba con 185 mantas identificadas (Homma, 1997). Clark (2001) señala que entre 1990-1999 en Yap, Micronesia se tenía catalogadas 54 mantas; mientras que entre 1991-2001 en Hawaii y Flower Garden Banks, Golfo de México, se identificaron 60 y 35 mantas respectivamente. Para el Pacífico mexicano, en el Archipiélago de Revillagigedo entre 1988-2001 se identificaron 95 mantas y ya para 2015 se contaban con 487 mantas identificadas con 167 re-avistamientos (Pacific Manta Research Group, 2015). Sin embargo, de los catálogos antes mencionados solo el de Takashi Itoh ha sido publicado, además se sabe de otros catálogos (no publicados) por comunicación personal (Tabla I). Sobre la especie de manta foto-identificada solo en el catálogo del Archipiélago de Revillagigedo se conoce que es *Manta birostris*.

Marshall *et al.* (2011) afirma que las especies de mantas adecuadas para foto-ID poseen una o más de las siguientes características: 1) número relativamente pequeño de individuos en un grupo o población; 2) marcas distintivas y persistentes presentes en una alta proporción de individuos; y 3) el tamaño promedio de los individuos debe ser grande.

**Tabla I.** Catálogos de foto-identificación según Clark (2001). Catálogo publicado\*, sin publicar \*\* e información por conversación personal\*\*\*.

Investigador	Locación	Periodo de Estudio	Mantas identificadas
Takashi Itoh*	Islas Yaeyama, Japón	1980-1997	185
Bill Acker**	Yap, Micronesia	1990-1999	54
Keller Laros**	Kona Surf, Hawaii	1991-2001	60
Jeff Childs**	Flower Garden Banks, Golfo de México	1991-2001	35
Tim Clark***		1998-1999	40
Tim Clark***	Ukumehame, Maui	1995-1996	65
Bob Rubin**	Revillagigedo, México.	1988-2001	95

La manta de arrecife *Mobula alfredi* es una de las especies mejor conocidas por foto-ID. Couturier *et al.* (2011) en la costa este de Australia identificaron 435 individuos de *M. alfredi* y ninguno de *M. birostris*, evidenciando que esta especie forma grandes agregaciones y que sus individuos se pueden desplazar cientos de kilómetros. Para la misma región, Couturier *et al.* (2015) presentan la primera evidencia fotográfica de dos individuos de *M. birostris*. En la isla Maui, Hawái, Deakos *et al.* (2011) con foto-ID y seguimiento activo describen la abundancia, estructura poblacional, hábitos diarios y estacionales de *M. alfredi*; además cuantifican los daños naturales y antrópicos y sus implicaciones en el manejo. En cinco años registraron 290 individuos, con desplazamiento hasta 32 km en 51 hrs. de seguimiento a un individuo y con inmersión máxima hasta 324 m. 145 individuos fueron re-avistados en la isla Kona ubicada a 50 km de la isla Maui. Los re-avistamientos individuales entre años, sugieren que las mantas tienen fidelidad a gran escala al área de estudio.

En Maldivas, que la región más relevante en el avistamiento y agregaciones de *M. alfredi*, por tanto la actividad turística es muy importante. Kitchen-Wheeler (2010) con foto-ID en Maldivas propone una metodología más extensa para el análisis individual, recabando información sobre el patrón ventral con coloración, tamaño de la cola, marcas en las aberturas branquiales, entre otras. De 2001-2007 se identificaron 1440 individuos, siendo está la base de datos más extensa para mantas en el mundo. De todos los individuos diferentes, solo seis corresponden a *M. birostris*. Para 2012 el catálogo de foto-ID contenía 1900 individuos, de los cuales el 74% con un solo avistamiento y un individuo con 34 avistamientos (Kitchen-Wheeler, 2013). Esta metodología se emplea en todos los proyectos de la sociedad de conservación MantaTrust (<https://www.mantatrust.org/>).

Para las en la costa de Inhambane, Mozambique, Marshall *et al.* (2011) de 2003-2007 encontró en promedio 449 individuos de *M. alfredi*, variando anualmente entre 149 a 454 individuos. En la modelación se estimó que el tamaño total poblacional fue de 802 individuos, con elevada fidelidad en zonas de agregación. La información obtenida por los diferentes estudios, señalan sobre las buenas prácticas de manejo y conservación que se deben de realizar debido a los efectos de la pesca y otros factores antrópicos sobre la disminución directa de las poblaciones de manta en el mundo.

Se resalta que la mayoría de la información sobre manta corresponde principalmente a *M. alfredi* y es escasa para *M. birostris*. En Ecuador se tiene registro de una elevada población de *M. birostris* (com. pers.<sup>1</sup> Salinas de León) con escasa información publicada. Bearez (1996) confirma la presencia de *M. birostris* en el mar continental de Ecuador, el Proyecto Mantas Ecuador (2012) reportan sitios de agregación con hembras embarazadas y Yumiceba (2014) y MMF (2014) entre 2009-2014 en la isla de la Plata registraron 1927 individuos, con movimientos hacia Perú y a las Islas Galápagos. Otros registros foto-ID esporádicos se tiene en Isla de Cocos, Costa Rica (Sibaja-Cordero, 2008; Cortés *et al.*, 2012), Colombia (Mejía-Falla *et al.*, 2013), Nueva Zelanda (Duffy y Abbott, 2003), Brasil (Luiz *et al.*, 2008), Polinesia Francesa (Mourier, 2012), Uruguay (Milessi, 2003), Guyana Francesa (Girondot *et al.*, 2014), Surinam (De Boer *et al.*, 2015).

En México en el Caribe, Yum Balam, Quintana Roo, Martínez (2013) en mayo-agosto 2011-2012, identificó 85 *M. birostris* con una proporción de hembras (7:1). Posteriormente el proyecto Manta desarrollado por el grupo Manta México Caribe para 2016 tenía identificados más 200 individuos en la misma región del Caribe mexicano (com. pers.<sup>2</sup> Karen Fuentes).

Respecto a las mantas del Pacífico mexicano existen estudios poblacionales, principalmente para el Archipiélago de Revillagigedo, Rubin y Kumli (2010) en reportes anuales durante 2009 y 2010 observaron 25 y 36 individuos de *M. birostris* respectivamente. Ahora en 2018, de forma acumulada en más de 20 años de observación e identificación fotográfica se tienen reportadas cerca de 600 individuos de *M. birostris* para el archipiélago. Para la región de Bahía de Banderas no existen estudios de manta enfocados a estructura poblacional de mantas, siendo este estudio el primero de su clase.

---

<sup>1</sup> Salinas León, coordinador de Charles Darwin Foundation, Galápagos, Ecuador, 2015.

<sup>2</sup> Karen Fuentes, coordinadora de Manta México Caribe del grupo Manta Trust, Playa del Carmen. 2016.

Aunque hay pocos estudios publicados usando la foto identificación como herramienta para conocer la población de Revillagigedo, destacan estudios de Ruíz (2015) donde realizó la valoración económica total de las mantas gigantes en el archipiélago de Revillagigedo, obteniendo que esta especie deja una derrama económica de 14.1 millones de dólares al año, siendo la presencia y comportamiento de la manta un importante motor económico para la región y ofreciendo otra razón de peso para sustentar la protección al área y de la especie.

En el Golfo de California, existen registros históricos al inicio del siglo XVII, donde relatan la presencia de manta gigante de forma abundante y temida por los nativos (Sáenz-Arroyo, 2006). Desde 1960 hasta finales del siglo XX, la manta gigante se pescó desde las grandes islas de Golfo (islas Tiburón, Ángel de la Guarda, San Esteban, San Pedro Mártir) hasta Los Cabos, diezmando fuertemente su población hasta llevarla cercana al punto de extirpación en el Golfo de California (com. pers. Carlos Sánchez).

**Fotometría laser.** Las medidas del cuerpo o morfometría, son elementos relevantes para comprender la historia de vida de las especies. En vertebrados marinos la morfometría se ha empleado en estudios de crecimiento individual (Clark *et al.*, 2000), de madurez sexual (Waters y Whitehead, 1990), en diferencias fenotípicas en especies cercanas (Perryman y Lynn 1993), y en estructura de talla poblacional (Cubbage y Calambokidis, 1987). Conocer el dimorfismo sexual en una población a través de la morfometría ayuda a entender estrategias reproductivas, competencias intra-sexuales y elección de apareamiento (Deakos, 2010).

La mayoría de métodos morfométricos son invasivos y usualmente involucra la capturar y liberación o muerte del individuo. Las medidas morfológicas obtenidas de forma remota eliminan el daño individual, por ello la fotometría es un método adecuado sensible y no invasivo, que usa la fotografía digital para medir tallas de animales, de forma rápida y mínimo de perturbación (Deakos, 2010). Esta técnica ha sido empleada en medidas corporales de ballenas (Cubbage y Calambokidis, 1987; Best y Ruther, 1992; Spitz *et al.*, 2000), delfines (Perryman y Lynn, 1993), focas (Bell *et al.*, 1997), peces bentónicos (Rizzo *et al.*, 2016), tiburones (Klimley y Brown, 1983), y animales terrestres como gorilas (Galbany *et al.*, 2016) y elefantes (Wijeyamohan *et al.*, 2012).

En elasmobranchios son pocos los estudios de fotometría láser. Rohner *et al.* (2011) señalan que sin el uso de la fotometría laser se obtienen errores en la estimación de variables demográficas (*i.e.* tasa de crecimiento y la talla de madurez), las cuales son relevantes para los modelos demográficos y de evaluación de la vulnerabilidad en especies en declive. En tiburón ballena *Rhincodon typus* se ha demostrado que las estimación de tallas obtenidas con fotometría láser son mucho más precisas que las visuales, validando la exactitud, precisión y versatilidad de este método e incorporando las medidas a los modelos de madurez sexual y de dinámica poblacional, para predecir las respuestas poblacionales a diferentes perturbaciones (Holmberg *et al.*, 2009; Jeffreys *et al.*, 2013). Adicionando a la fotometría laser, la foto-identificación se han estimado la estructura poblacional del tiburón ballena en Filipinas (Araujo *et al.*, 2014) y Mozambique (Rohner *et al.*, 2015).

Respecto a *Mobula alfredi* la fotometría se utilizó en Hawái por Deakos (2010) quien con mediciones repetitivas a 154 individuos, determino que la medida consistente es el Largo de Disco (LD) y además observo dimorfismo sexual en las tallas individuales. Por su parte Marshall *et al.* (2011) en Mozambique emplearon tres métodos de estimación de talla individual y estructura poblacional de *M. alfredi*: 1) Distancia entre las puntas de las aletas pectorales (AD) teniendo como referencia el tamaño de un buzo (arriba o debajo de la manta); 2) Talla con una cinta métrica (fue poco efectiva); y 3) Fotometría láser con el método Deakos (2010). Como fue de esperar, este último método fue el más efectivo empleando cuatro clases de talla de AD: < 3 m, 3.0-3.9 m, 4.0-4.9 y >5 m.

Para el caso de *M. birostris*, sólo se cuenta con el estudio de McClain *et al.* (2015) quienes con fotometría determinan distintas estructuras de talla entre regiones, expresada por la variabilidad geográfica entre las Longitudes de Ancho (LD) de disco promedio y máxima. Estas diferencias en tallas probablemente se relacionan con la disponibilidad del alimento entre regiones o por la presión de pesca.

En el Pacífico mexicano hace falta profundizar en estudios poblaciones de *M. birostris*, dado que es escasa la información disponible, sobre todo en el área de Bahía de Banderas, donde la información que se tiene sobre esta especie es casi nula y la presión pesquera y turística va en aumento, lo que podría generar grandes daños a la población.

## **JUSTIFICACIÓN**

Aunque la existencia de mobulidos ha sido documentada en el Pacífico mexicano desde el siglo XVII, es sorprendente que *Mobula birostris* siendo una especie carismática, exista escasa información biológica, ecología y conservación. Este conocimiento básico es relevante debido al aumento drástico de la presión pesquera y turística, por lo tanto amenazan su estabilidad poblacional. La foto-identificación en Bahía de Banderas generará una línea base sobre la población de *M. birostris* y comparada esta población con la presente en el archipiélago de Revillagigedo, permitirá conocer la conectividad entre ambas zonas y así establecer mejor formas de manejo y conservación las poblaciones del Pacífico mexicano.

## **OBJETIVO GENERAL**

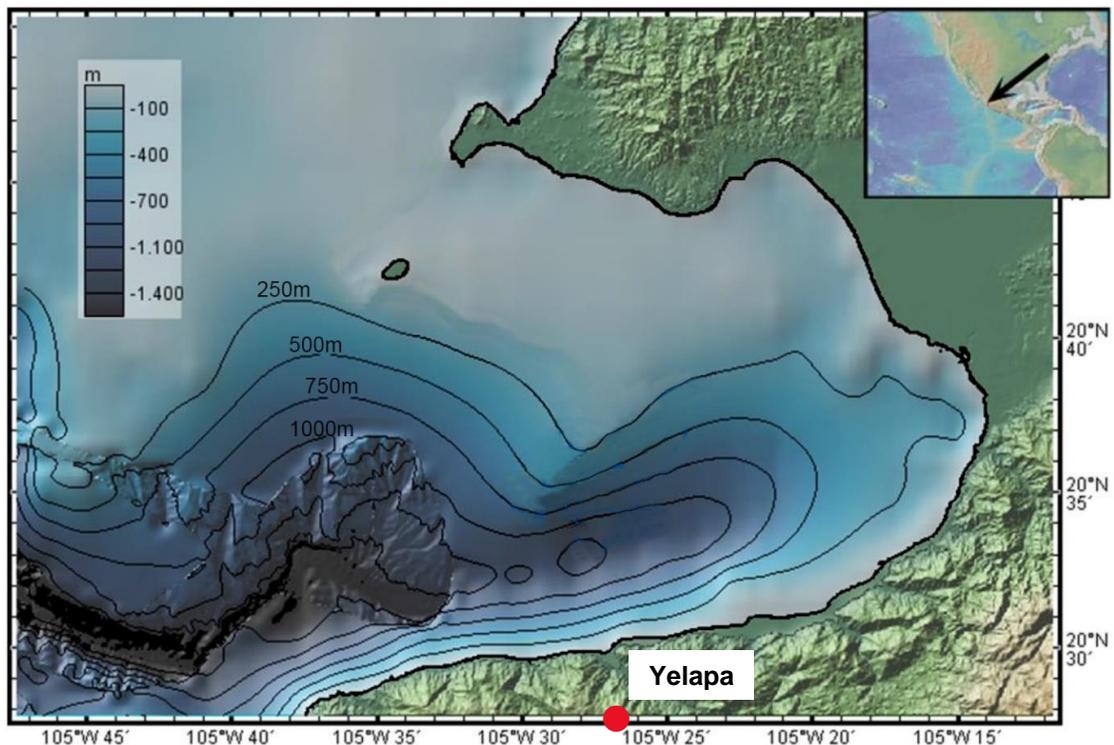
Describir la estructura poblacional de Manta gigante *Mobula birostris* en Bahía de Banderas y el Archipiélago de Revillagigedo, basados en distinción de individuos, morfotipos, proporción de sexos, madurez sexual y estructura de tallas.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Distinción individual de manta gigante con base a la foto-identificación en las regiones de Bahía de Banderas y el Archipiélago de Revillagigedo.
- Determinar la proporción de morfotipos, sexos y madurez sexual de la manta gigante para cada región de estudio.
- Determinar la estructura de tallas de la manta gigante zonas de estudio por medio de fotometría laser y comparar las tallas entre sexos dentro de las poblaciones y entre las dos poblaciones.
- Determinar la proporción de daño (heridas, cicatrices) que presenta la manta gigante para cada región de estudio.

## ÁREA DE ESTUDIO

Bahía de Banderas y su zona litoral aledaña, se ubica en el Pacífico central mexicano y la comparten los estados de Nayarit y Jalisco. Se localiza entre  $20^{\circ}07'$  y  $21^{\circ}08'$  N y  $105^{\circ}10'$  y  $105^{\circ}45'$  O (Fig. 5). Bahía de Banderas alberga una biodiversidad influenciada por la Corriente de California (masa de agua templada del norte) y por los sistemas de corrientes Norecuatorial y de Costa Rica (masas de agua cálida del sur). Se encuentra en la región zoogeográfica del Pacífico oriental tropical, dentro de la Provincia Mexicana y queda incluida en la boca del Golfo de California (Moncayo-Estrada *et al.*, 2006). La batimetría de la bahía, al Suroeste es la zona más profunda entre 1070 m y 1504 m. Al Este la profundidad va desde 535 m a 60 m y 20 m cerca de la costa; mientras que al Norte es la zona más somera menos de 250 m a 20 m (Rodríguez, 2000, Moncayo-Estrada *et al.*, 2006). La temperatura superficial promedio de mar es de  $23^{\circ}\text{C}$  en invierno,  $26.6^{\circ}\text{C}$  en primavera,  $28.5^{\circ}\text{C}$  en verano y  $26.8^{\circ}$  en Otoño (Rodríguez, 2000).



**Figura 5.** Bahía de Banderas (Nayarit-Jalisco). Se observa la batimetría y la región de observación.

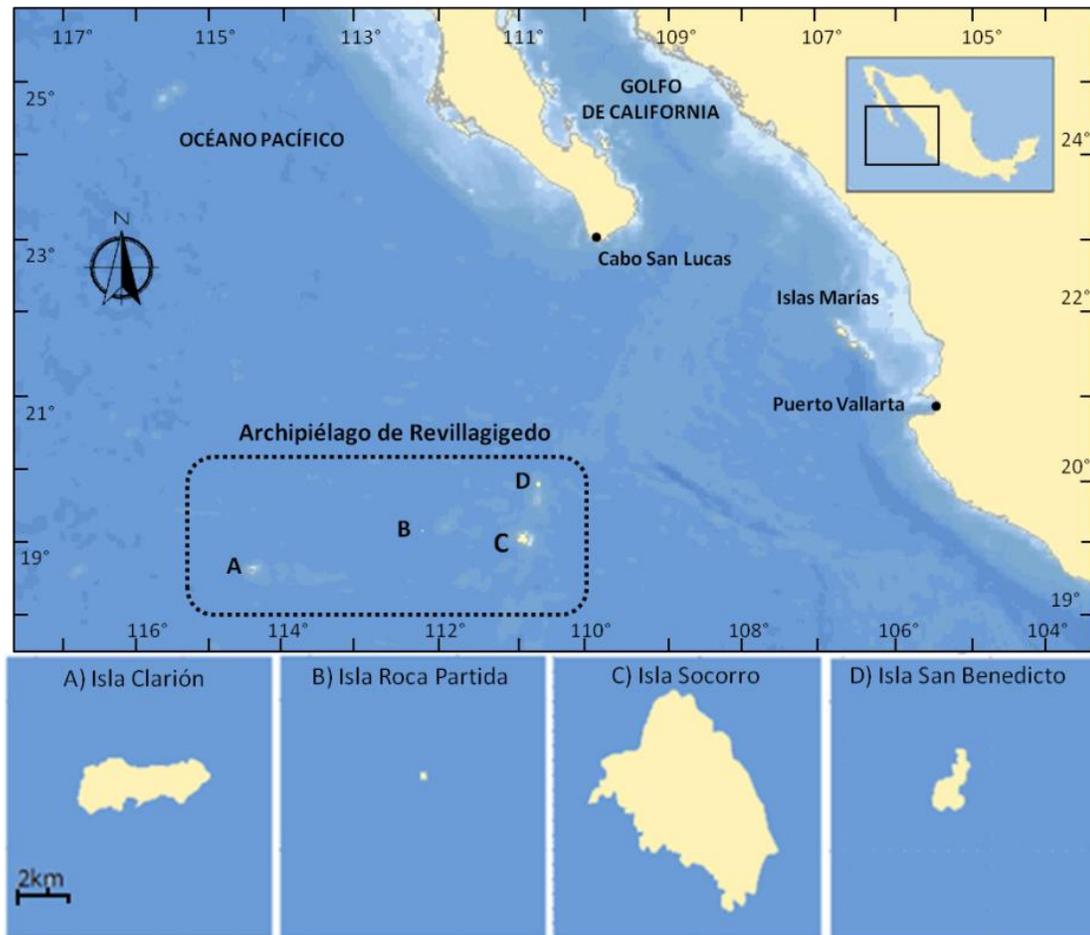
En Bahía de Banderas se aprovechan los distintos recursos pesqueros de tipo artesanal, capturando durante el año especies de serránidos (cabrillas) y lutjánidos (pargos), en menor medida, guerreidos (mojarras), paralíctidos (lenguados), hemúlidos (burritos). De acuerdo con

la temporada, se pescan diversos tiburones (carcarínidos y edfírnidos), así como pez vela y marlín (istiofóridos). Por otra parte, en este cuerpo de agua y áreas adyacentes, se llevan a cabo actividades de ecoturismo y conservación como: observación de la ballena jorobada y aves marinas, torneos de pesca deportiva, campamentos tortugueros y buceo guiado en áreas arrecifales (Moncayo-Estrada *et al.*, 2006).

El archipiélago de Revillagigedo (Fig. 6) es un conjunto de islas volcánicas localizadas a 402 km de Cabo San Lucas, Baja California Sur y 680.6 km de Manzanillo, Colima. El Archipiélago constituye el territorio insular mexicano más alejado de la costa continental, situado entre 18°20' y 19°20' N y 110°45' y 114°50' O. Se compone de cuatro islas: Socorro, Clarión, San Benedicto y Roca Partida, que emergen desde los 3500 m de profundidad. Revillagigedo está situado en el Pacífico oriental tropical con una fuerte influencia de la corriente norecuatorial, con mínima variación térmica anual (25°C +2°C en julio-septiembre y -2°C en marzo-junio. Pese a ello, existe cierto efecto de la Corriente de California, que produce una ligera disminución en las temperaturas superficiales y sub-superficial durante el primer trimestre del año (Kessler, 2014)

El archipiélago de Revillagigedo fue declarado como “Área Natural Protegida con Carácter de Reserva de la Biosfera” el 6 de junio de 1994 en decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación (Hernández-Velázquez *et al.*, 1997). En julio de 2016 el archipiélago de Revillagigedo quedó inscrito en la lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2016).

Debido a que el archipiélago se localiza en el margen oriental de la placa del Pacífico, su riqueza específica es relativamente baja. Este fenómeno se manifiesta por la composición taxonómica de los conjuntos ícticos neríticos. Aunque el archipiélago se encuentra influenciado por corrientes cálidas durante la mayor parte del año, no existen auténticos arrecifes hermatípicos, lo que produce una baja diversidad íctica. A pesar de eso, se han registrado varias formas pelágicas oceánicas como: *Rhincodon typus*, *Galeocerdo cuvier*, *Carcharhinus albimarginatus*, *C. falciformes*, *C. galapagensis*, *Sphyrna mokarran*, *S. lewini*, *Mobula* spp. y por supuesto *Mobula birostris* (Castro-Aguirre y Balart, 2002). Entre estas especies y otras más de mamíferos marinos han hecho que el turismo encuentre las costas de Revillagigedo como un destino muy atractivo, por lo que es la principal actividad humana.



**Figura 6.** Archipiélago de Revillagigedo. Ubicación de las islas: A, Clarión; B, Roca Partida; C, Socorro; D, San Benedicto. Escala de A-D igual a 2 km (Olvera, 2015).

## METODOLOGÍA

### Bahía de Banderas / Foto-Identificación

Durante agosto-diciembre de 2014 se realizaron monitoreos diarios al sur de Bahía de Banderas (Yelapa, Jalisco). Se obtuvo la gran ayuda de los habitantes y pescaderos de Yelapa, quienes aportaron valiosa información de los sitios frecuentes en avistamiento de manta gigante. En cada sitio de monitoreo se efectuaron transectos lineales de ~1 milla, con un total de tres replicas (transectos). En cada transectos se realizaron censos visuales en buceo libre (esnórquel) con dos observadores separados entre ellos por ~30 m y nadando paralelos a la costa. Otro observador se ubicó en la proa de la embarcación, quien tenía un más amplio rango de visión. Cada transecto se recorría en ~1 hora y se continuaba con el siguiente transecto. Diario fue factible realizar entre cinco y seis transectos.

Durante el avistamiento con una cámara GoPro® Hero 3+, se realizaron grabaciones de videos de los individuos tomando la parte ventral, características del sexo y daños presentes en el cuerpo. En la embarcación se tomaron los datos de fecha, hora del avistamiento, lugar y comportamiento del individuo (transitando, comiendo, etc.). También se estimó el ancho individual de disco (AD) tomando como medida relativa el tamaño de los observadores con aletas posicionados al lado de la manta. Adicionalmente, las fotografías y los videos de mantas avistadas por turistas o de servicios de buceo en la Bahía de Banderas, fueron integrados a los datos cualitativos del Proyecto Manta.

### Archipiélago de Revillagigedo – Foto-identificación

En barcos turísticos de buceo scuba, Rocío del Mar y Valentina, se realizaron seis viajes al archipiélago (islas San Benedicto, Socorro y Partida) entre 2012 a 2015. Cada avistamiento de manta fue por 1 hora y 30 m de profundidad máxima. Los individuos fueron fotografiados y se tomó video (cámara digital Intova® SP8) de la parte ventral, observado también el sexo, estado de madurez sexual, coloración (morfotipo) y presencia/ausencia de daños. También las fotos y videos tomadas por turistas fueron incluidos.

### Catálogo de foto identificación

Con las fotos se obtuvieron dos catálogos de foto-identificación, uno para cada área de estudio, asignando a cada foto individual un código de identificación secuencial (*ID Manta*) siguiendo el protocolo de Manta Trust. Este consiste en organizar cada uno de los diferentes patrones individuales del patrón ventral desde el más claro y con menos manchas hasta el patrón ventral más oscuro. El *ID Manta* comprende los siguientes parámetros (Fig. 7):



- ID Manta = M1234
- Color Morfotipo = Bk or Cv (negro o chevron)
- Sexo = ♂ macho, ♀ hembra, Juv (juvenil)
- Cola longitud = S, M,L (corto, mediano, largo)
- Cola daño = **T**?
- Aleta pectoral daño = RP or LP (derecha o izquierda)
- Aleta cefálica daño = RC or LC (derecha o izquierda)
- Branquia daño = RG or LG (derecha o izquierda)

**Figura 7.** Ejemplo de código de identificación (ID manta) de acuerdo al protocolo de Manta Trust.

## Estructura poblacional

Se generó una base de datos con las características individuales de *Mobula birostris*, tomando al número total de mantas registradas en Bahía Banderas y Archipiélago de Revillagigedo, siendo un estimado del tamaño poblacional por región. De aquí se obtuvo la proporción de morfotipos con los dos patrones de coloración (negro y chevrón), la proporción de sexos por área y entre ellas; y la combinación de morfotipo por sexo.

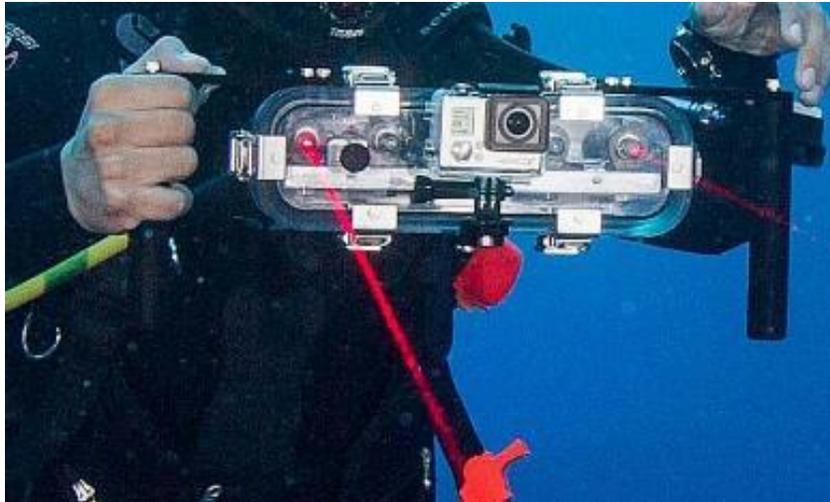
Con los datos de tallas en las mantas de Bahía de Banderas se evaluó si existe dimorfismo sexual entre machos y hembras, para ello se consideraron si los datos se ajustan a una distribución normal basados en el análisis de frecuencia de tallas con la prueba de chi-cuadrada ( $X^2$ ). Posteriormente, se evaluó el promedio de tallas por sexo y se realizó una prueba t-student con un 95% de confianza para determinar las diferencias significativas entre las medidas de AD en ambos sexos.

Los daños y/o cicatrices observados en las mantas en ambas áreas de estudio, fueron clasificados como antropogénicos y naturales. Como daño antrópico se asumió que la manta presenta heridas producidas por hélices de embarcaciones, cortes de líneas y redes de pesca; mientras que heridas naturales se consideraban aquellas semejantes a mordidas de un depredador que se distinguen por la cicatriz en forma de “media luna”. Una vez definido el tipo de herida, se obtuvo la proporción de mantas con presencia de daños, la cantidad de daños de origen antrópico y natural, además, para cada tipo de daño se analizó en qué parte del cuerpo se presentaban y en qué frecuencia. Asimismo, se obtuvieron los cálculos de daño por sexo/antrópico o naturales.

## Fotometría láser

La fotometría se basó siguiendo la metodología propuesta por Deakos (2010), que indica el uso de dos cámaras GoPro® y dos punteros láser (color rojo) (prestados por el Instituto Oceanográfico Scripps) alojados dentro de un *housing* hermético y puesto sobre una placa de aluminio y en la parte externa otra cámaras de GoPro® (Fig. 8).

Sobre la **exactitud** y **precisión** en la estimación de tallas de las mantas pueden existir posibles fuentes de error como: 1) distorsión de la imagen causada por la refracción de luz y el lente gran angular, 2) punteros láser no paralelos y el (3) error por el efecto parallax (Deakos, 2010). Estas fuentes de error fueron evaluadas.



**Figura 8.** Equipo de fotometría láser usado para estimar los tamaños de las mantas gigantes en el Archipiélago de Revillagigedo. Foto: Joshua Stewart.

Respecto a la **distorsión de la imagen, que ocurre** cuando la luz se refracta a medida que pasa en un ángulo desde el agua (índice de refracción  $\sim 1.00$ ) y al aire (índice de refracción 1.33) del housing de la cámara. Evitar efectos de la distorsión se utilizó el factor de corrección propuesto por Deakos (2010) para compensar dicho error. Para cuantificar la cantidad de distorsión presente en la imagen, se tomó una fotografía debajo del agua a una hoja de papel con una matriz de 16 columnas y 10 filas para un total 160 cuadrados. La foto se tomó donde los bordes de la cuadrícula coincidan con los bordes de la imagen. Con el software ImageJ® se midió la diagonal de uno de los cuadrados centrales, se midió la diagonal de dos cuadrados centrales y así sucesivamente hasta ocho cuadrados (Fig. 9). Después con la misma hoja cuadrículada repitió lo anterior con la foto fuera del agua. Como valores en el eje  $x$  se usaron las longitudes de los cuadrados de la imagen con distorsión, mientras que el eje  $y$  fueron las medidas de la imagen sin distorsión. La distribución de los puntos se ajustó al modelo lineal. El modelo permitió corregir todas las tallas, obteniendo una estimación de talla de las mantas con mayor precisión.

La **calibración de punteros láser** se realiza antes de la primera inmersión. Los láseres deben estar paralelos para no obtener medidas incorrectas. La calibración consistió en usar los láseres a una distancia de un 1 m de la pared, donde está una regla de 20 cm y cada haz de luz toca los extremos de la regla, esto se repite cada metro más hasta llegar a 10 m de distancia de la pared, siempre los punteros láser deben mediar los 20 cm de la regla.



**Figura 9.** Cuadrícula fotografiada con sus respectivas medidas.

Se **posicionó una cámara** GoPro® entre la base y el respaldo en un ángulo de 90°. También la cámara se configuró a una resolución de 1080p, velocidad de grabación de 30 fotogramas por segundo y opción *Medium* para el ángulo de visión del lente, ya que las funciones *Wide-Angle* y *Wide* tienden a empequeñecer los objetos y deforman la imagen en los bordes de la toma y los puntos de los láseres no se distinguen. Caso contrario, la función *Narrow* hace perder la calidad de la toma y gran parte del cuerpo de las mantas.

### **Medición de mantas gigantes en el Archipiélago de Revillagigedo**

En Revillagigedo en las Islas San Benedicto (El Boiler), Roca Partida y Socorro (Cabo Pierce) durante diciembre de 2015, se utilizó la fotometría láser para estimar tallas de *M. birostris*. En los buceos de 1hr y menor a 30m de profundidad, se avistaron mantas donde el observador se posicionó debajo de cada individuo al plano ventral y perpendicular a la proyección de los punteros láser (Fig. 10). Los movimientos del observador fueron suaves y por la pérdida de la intensidad del haz de luz la distancia a la manta no fue mayor a 5 m. El ancho de disco (AD) se capturó en el eje horizontal que une las puntas de las aletas pectorales, mientras que el largo de disco (LD) se tomó sobre el eje horizontal que une el centro de la boca (anterior) con las aletas anales (posterior) del animal. Para no subestimar las medidas, estas fueron tomadas con las aletas extendidas de la manta y estuviera en todo el cuadro del video. Al mismo tiempo, se determinó el sexo, madurez sexual y si presentaban daños corporales. Los individuos registrados se compararon con el catálogo de foto-identificación y si no se encontraban los registraron se tomaron como un nuevo avistamiento.



**Figura 10.** Posición del observador con respecto a la manta para la proyección de los láseres. Foto: Joshua Stewart

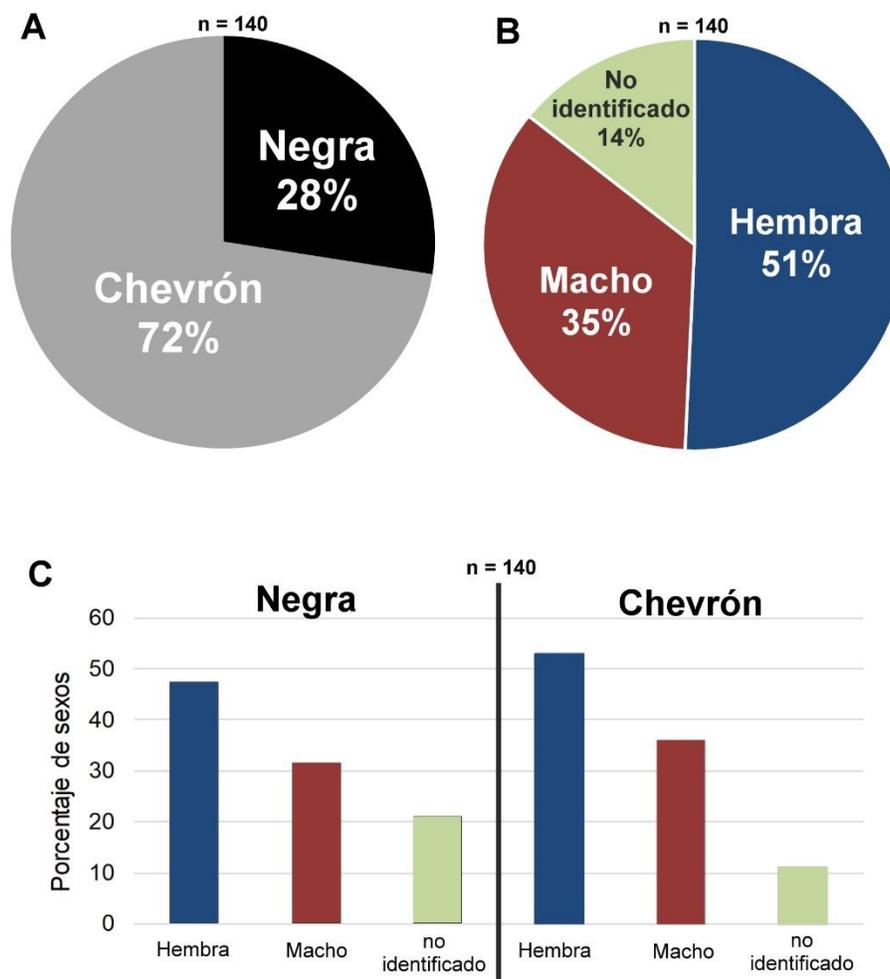
### **Estimación de tallas de las mantas gigantes del Archipiélago de Revillagigedo.**

De cada video individual de manta, se extrajeron cuatro fotogramas con los puntos de los láseres bien proyectados. Estas imágenes fueron procesadas con el software ImageJ® para obtener las tallas individuales. Primero se establece la escala de la foto para convertir la longitud de píxeles a metros y luego se dividió entre 0.2 (distancia conocida entre los dos puntos láser). De cada fotograma se obtuvieron cuatro mediciones del AD y cuatro del LD, teniendo un total de 32 medidas por individuo y estas medidas se modificaron con el factor de corrección de la distorsión. Respecto a la precisión de los láseres se calculó con el coeficiente de variación porcentual (CV) de las mediciones repetidas en cada manta tanto para el AD como para el LD. De la relación entre el AD y el LD se obtuvo la proporción del disco o rango de disco (RD) y el promedio del RD se comparó por sexo para determinar diferencias significativas a partir de un análisis de varianza. Se graficaron las medidas de AD y LD de cada manta y se ajustó al modelo de regresión lineal. La función obtenida de la regresión fue usada para transformar las medidas del LD a una estimación del AD y así hacer comparaciones directas en futuros estudios. Por último, mediante análisis de varianza de una vía se determinó si existían diferencias significativas en las longitudes de AD y de LD entre sexos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software STATISTICA® 8.

## RESULTADOS

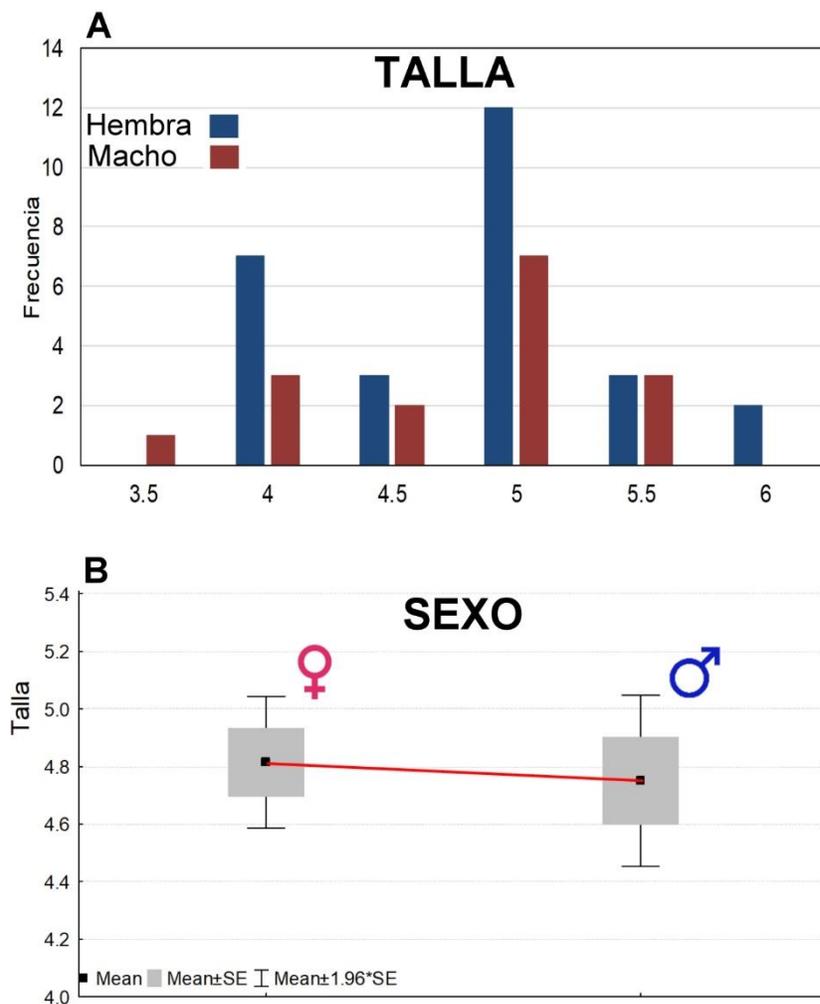
### Estructura poblacional de *Mobula birostris* en Bahía de Banderas.

De agosto de 2014 a julio de 2016 se identificaron 140 individuos distintos de *M. birostris*, siendo la coloración (morfortipo) chevrón la más observada (72%) respecto a la negra (28%) (Fig. 11a). 20 individuos no fue posible determinar el sexo por la pobre visibilidad del agua, calidad del video/fotograma, ángulo de toma de video y fotos ventrales que no distinguían los órganos sexuales; por tanto de 140 mantas, se obtuvo que el 72 individuos (51%) fueron hembras y el 49 (35%) fueron machos, es decir la proporción de sexual fue de 3:2 hembras por macho (Fig. 11b). De la relación del morfortipo respecto al sexo, se obtuvieron proporciones semejantes, ya que el 53% de hembras fueron chevrón y 47% negro (Fig. 11c).



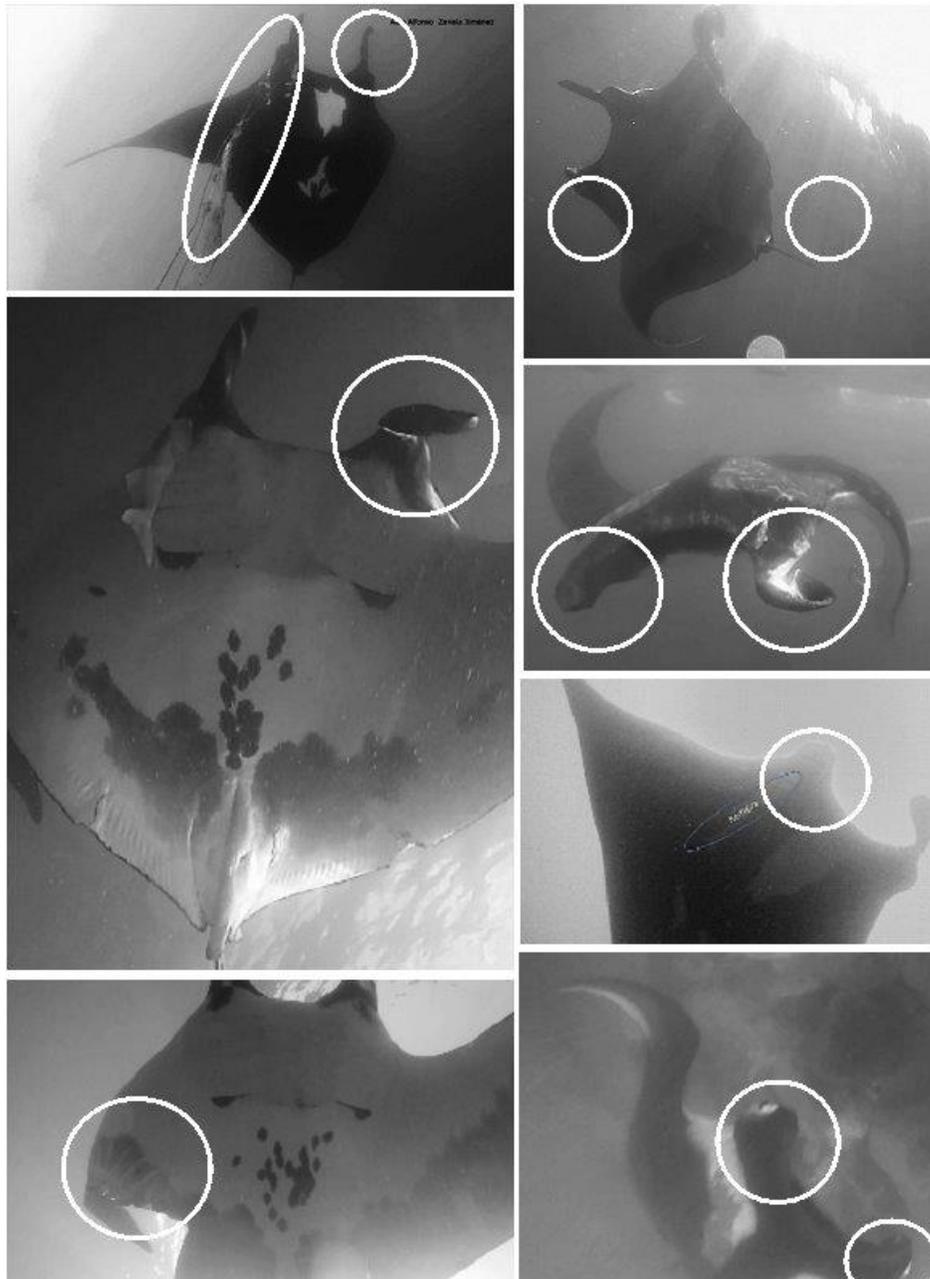
**Figura 11.** Registros de *Mobula birostris*, Bahía de Banderas (2014-2016): A) Proporción de morfortipos; B) Proporción de sexos; y C) Proporción de sexos respecto al morfortipo registrado.

Para los tamaños de los individuos, se pudo estimar el ancho de disco (AD) de 27 hembras y 16 machos. Los datos presentaron una distribución normal ( $X^2=51.09$ ,  $p=0.001$ ). El promedio de tallas de todos los individuos fue de 4.79 m de AD. En el caso de las hembras el AD osciló entre 4 m y 6 m, con un AD promedio de 4.81 m; mientras que el AD de los machos varió de 3.5 m a 5.5 m, con un promedio de 4.75 m (Fig.12a). La prueba t-student se estimó con un 95% de confianza y no mostró diferencias significativas ( $t=0.33$ ,  $p=0.736$ ) entre el AD de machos y hembras (Fig. 12b), sin embargo, las hembras muestran ser ligeramente más grandes que los machos.

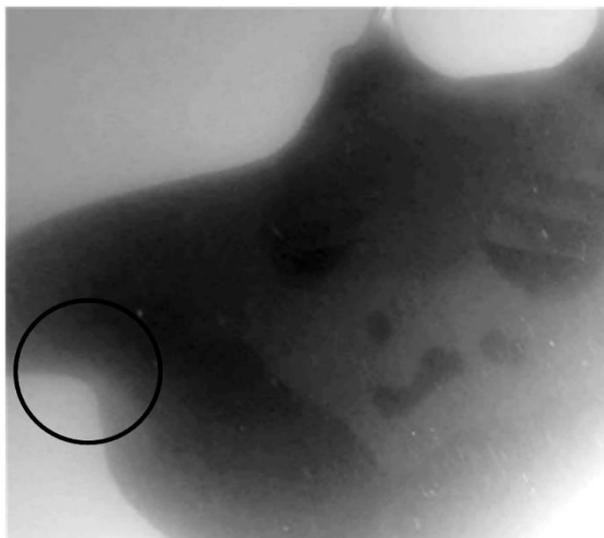


**Figura 12.** Ancho de disco (AD) de *Mobula birostris*, Bahía de Banderas (2014-2016): A) Frecuencia de tallas; B) Variación entre tallas AD entre sexos. Valor- $t=0.338$ ,  $GL=41$ ,  $p=0.736$ .

La observación de daños o heridas fue un rasgo característico de las mantas fotografiadas. Fue posible distinguir dos tipos de daños: el antropogénico que son lesiones producidas probablemente por hélices de embarcaciones, líneas o redes de pesca y estando presente la mayoría en lóbulos cefálicos (50%) y aletas pectorales (50%) (Fig. 13); y el natural que se distinguió por presentar en la parte posterior de la aleta una herida en forma de media luna de probable mordida de tiburón (Fig. 14).

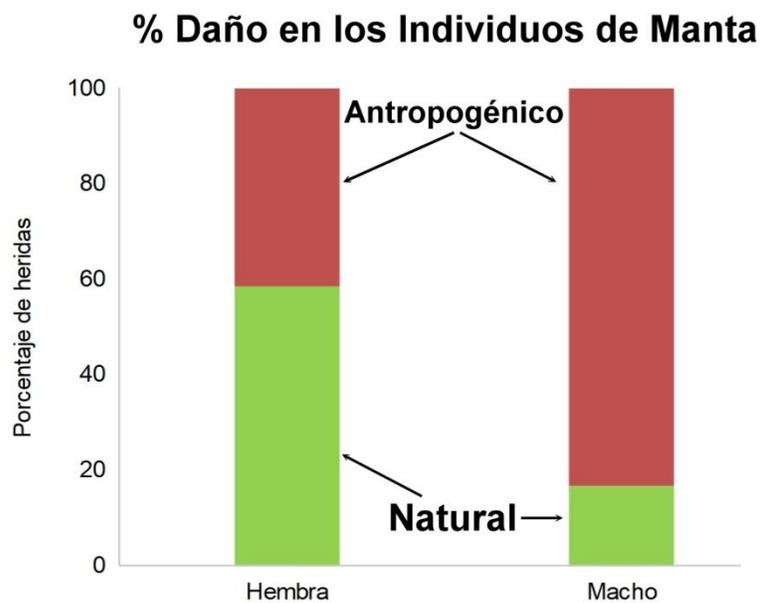


**Figura 13.** Individuos de *Mobula birostris* de Bahía Banderas con daños o heridas de origen antropogénico producidas por hélices de embarcaciones, líneas o redes de pesca.



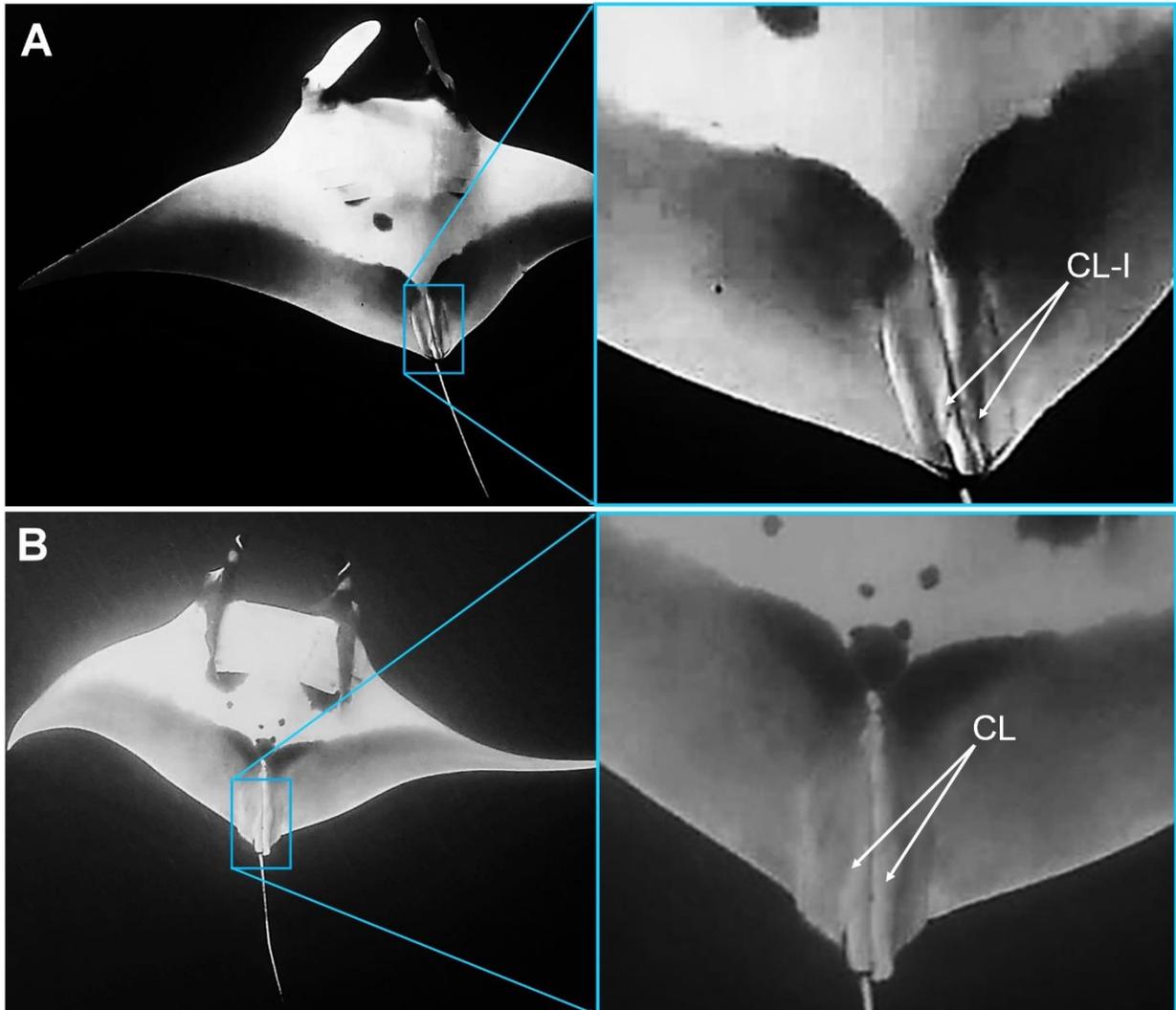
**Figura 14.** Individuo de *Mobula birostris* de Bahía Banderas con heridas de origen natural producidas posiblemente por mordedura de tiburón debido a la cicatriz con forma de media luna.

De las 140 mantas observadas en Bahía de Banderas, en 29 (20.7%) individuos se observaron rasgos de daño en el cuerpo, de las cuales en 9 (32%) individuos fueron heridas de origen natural y 20 (68%) antropogénicas (Fig. 15). Respecto a los daños por sexo, de los 13 (52%) machos observados con daño, el 83% fueron de origen antrópico y 17% de origen natural y solo un individuo presentó ambos tipos de daño. En cuanto a las 12 (48%) de hembras heridas, el 40% fueron de origen antrópico y 60% de origen natural (Fig. 15).



**Figura 15.** Porcentaje de individuos por sexo de *Mobula birostris* con daños en Bahía de Banderas.

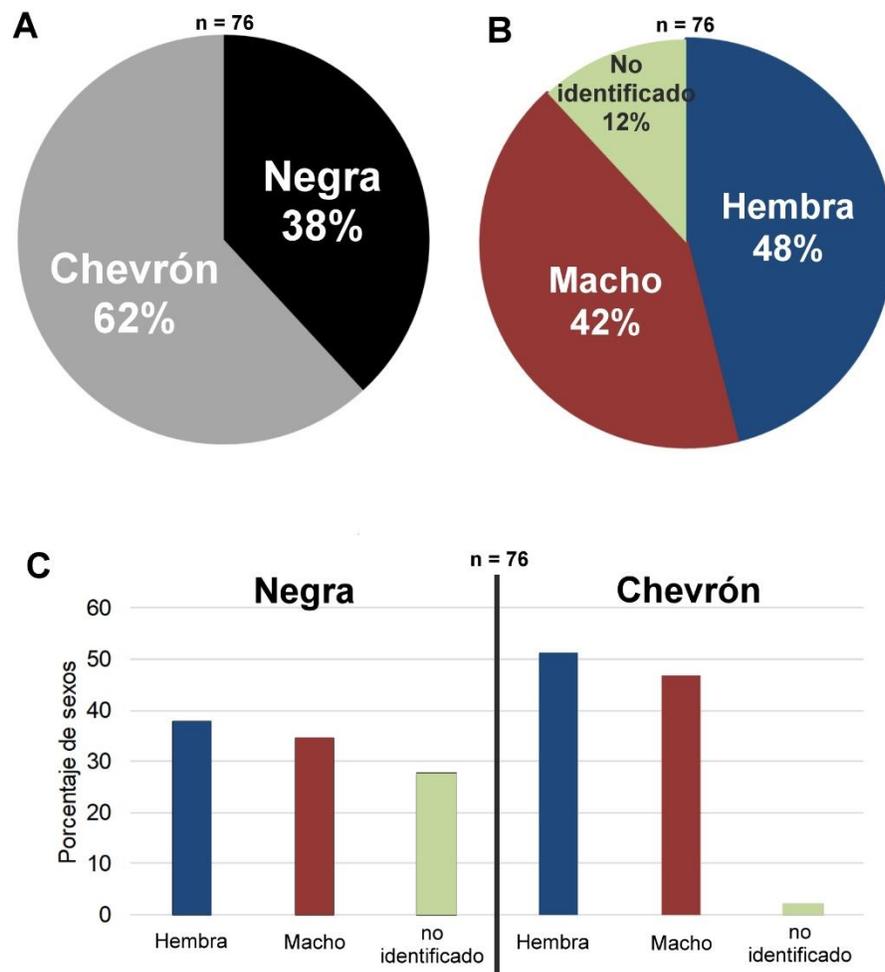
Sobre la información de madurez sexual, se identificaron 36 machos con claspers maduros y 3 con claspers inmaduros (juveniles) (Fig. 16). La madurez en hembras no se determinó con certeza, ya que no se observaron hembras con cicatrices de reproducción en los extremos de las aletas pectorales o individuos preñados.



**Figura 16.** Machos *Mobula birostris*. A. Foto izquierda muestra la porción ventral de un macho inmaduro, foto derecha se muestra acercamiento de los órganos sexuales (claspers) los cuales son pequeños y no exceden la longitud de las aletas pélvicas (CL-I); B. Foto izquierda muestra porción ventral de un macho maduro, foto derecha se muestra acercamiento de los claspers bien desarrollados (CL), los cuales sobrepasan la longitud de las aletas pélvicas.

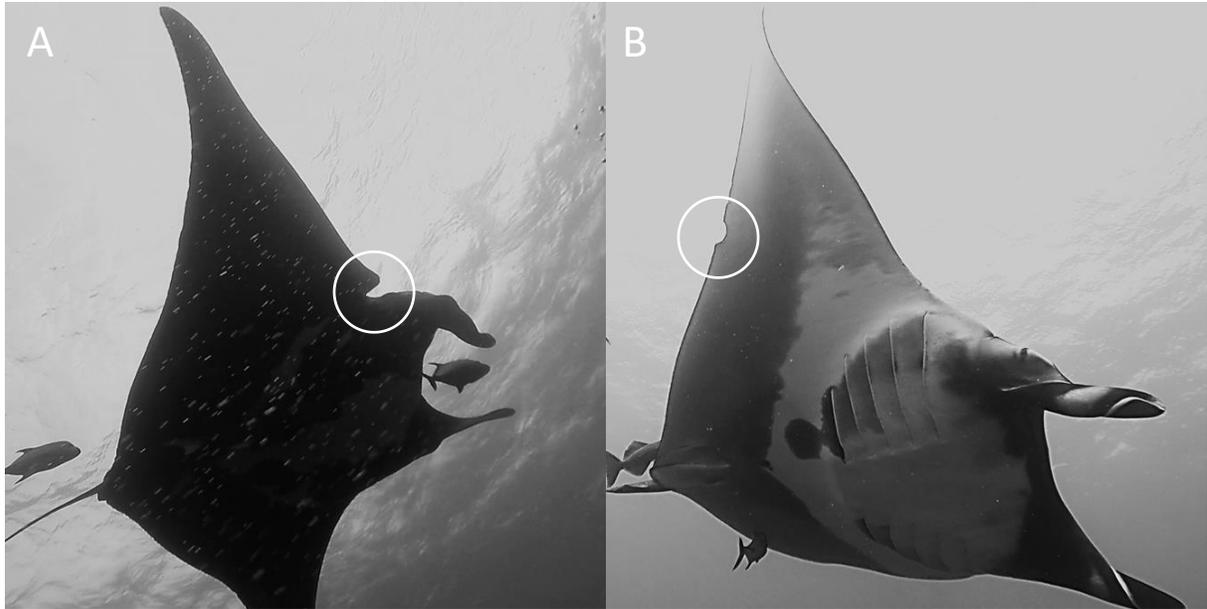
### Estructura poblacional de *Mobula birostris* en el Archipiélago de Revillagigedo.

Entre 2012 a 2015, se realizaron seis expediciones a Revillagigedo, registrándose 76 individuos diferentes de *M. birostris*. Al igual que en Bahía de Banderas, se observaron los dos tipos de coloración, siendo el morfotipo chevrón dominante con el 62% de los individuos (Fig. 17a). Del total el 46% fueron hembra, 42% machos y el 12% no se determinó el sexo, es decir la proporción de sexual fue de 1:1 hembras por macho (Fig. 17b). De la relación del morfotipo respecto al sexo, al igual que en Bahía de Banderas se obtuvieron proporciones semejantes, ya que el 51% de hembras fueron chevrón y 38% negro (Fig. 17c).



**Figura 17.** Registros de *Mobula birostris*, Archipiélago de Revillagigedo (2012-2015): A) Proporción de morfotipos; B) Proporción de sexos; y C) Proporción de sexos respecto al morfotipo registrado.

Sobre la observación de heridas en las mantas de Revillagigedo, de los 76 individuos registrados, solo 8 (11%) presentaron daños en el cuerpo: 2 son individuos con marcas de origen antrópico (ambas en la aleta pectoral) y 6 de origen natural, con cicatrices causadas posiblemente por tiburón (4 en aletas pectorales y 2 la cola) (Fig. 18). De las mantas con daño, el 55.6% fueron hembras y el 33.3% fueron machos, el resto son individuos con sexos no diferenciado.



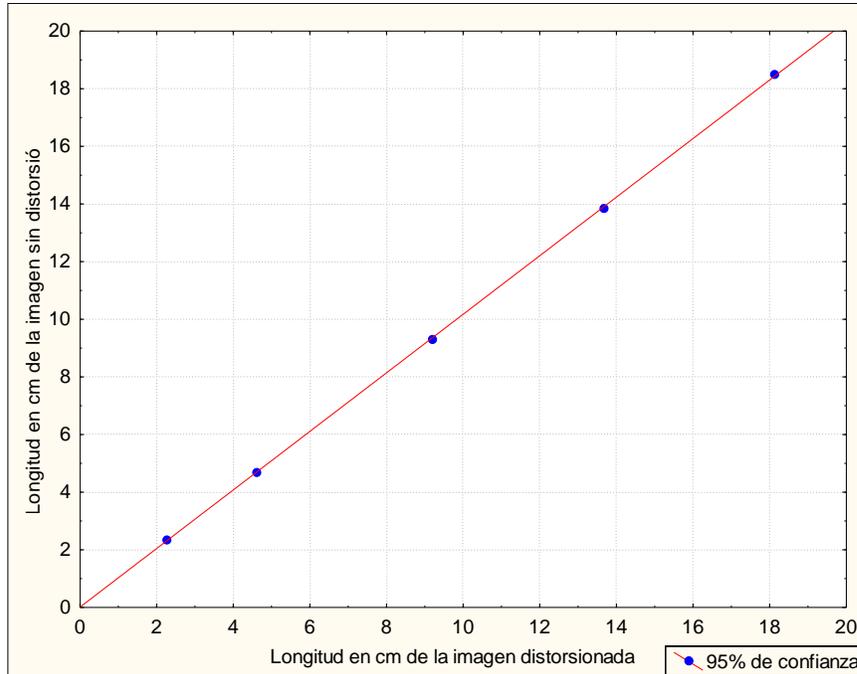
**Figura 182.** Individuos de *Mobula birostris*, Archipiélago de Revillagigedo con heridas de origen antrópico (A) y de origen natural (B).

### Fotometría láser en Archipiélago de Revillagigedo

**Exactitud y Precisión.** En la cuantificación de la cantidad de distorsión que produce el gran angular de la cámara, se midió la diagonal de un cuadrado central de una malla. Se obtuvo el valor por un cuadro = 2.256 cm, dos cuadros = 4.603 cm, cuatro cuadros = 9.201 cm, seis cuadros = 13.68 cm y ocho cuadros = 18.122 cm (Fig. 19). Estos valores se usaron para obtener el modelo lineal (Fig 20.), donde el producto para obtener las medidas de la imagen sin distorsión son:  $y=1.0162x+0.0127$ , con coeficiente de correlación de 0.99 ( $df=4$ ,  $p<0.001$ ). Este modelo ajustado se aplicó a todas las medidas obtenidas de la fotometría láser efectuada en las mantas y así corregir la distorsión causada por la refracción de la luz y el lente gran angular.



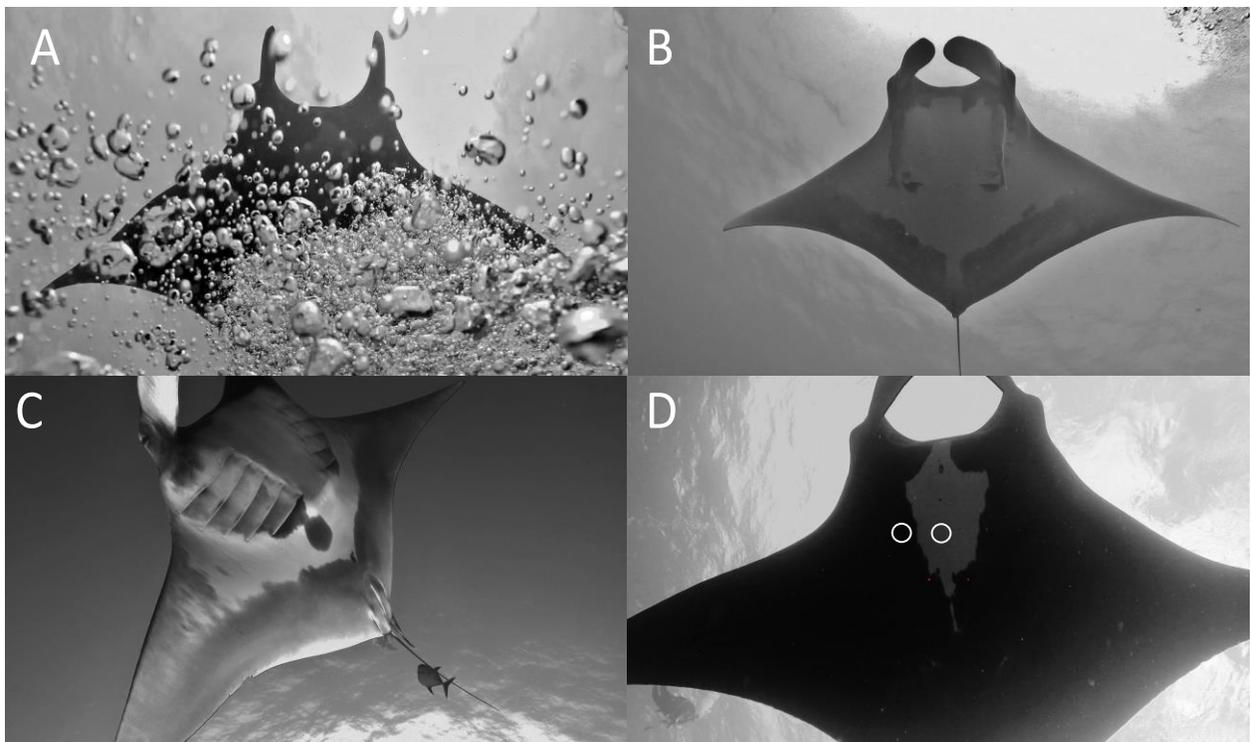
**Figura 19.** Método para cuantificar la cantidad de distorsión del gran angular de la cámara. La diagonal de la cuadrícula de 1, 2, 4, 6 y 8 cuadros son tomados para obtener el modelo lineal.



**Figura 20.** Gráfica de las medidas esperadas, sin distorsión, de una imagen (en centímetros) si fuese tomada con un lente plano contra las medidas reales de la misma imagen distorsionada por un lente gran angular. Los datos se ajustan al modelo lineal.

## Estimación de tallas de las Mantas Gigantes del Archipiélago de Revillagigedo.

Del 3 al 8 de diciembre de 2015 en el Archipiélago de Revillagigedo, para estimar la talla individual *M. birostris*, se probó por primera vez la técnica de fotometría láser. En total se tomaron videos (fotos) de 27 distintos individuos en Islas San Bendecido (El Boiler), Roca Partida y Socorro (Cabo Pierce). Solo 14 imágenes de mantas (9 hembras y 5 machos; ambos maduros) fueron procesados con el software ImageJ® y por tanto fue precisa sus estimaciones de talla del ancho de disco (AD) y largo del disco (LD). Las imágenes (individuos) no procesadas presentaban errores o inconvenientes como: a) burbujas del buzo obstruyen la proyección de los láseres sobre la manta; b) la proyección de los láseres no se distinguen en el vientre de la manta, porque la manta y el buzo está a una distancia mayor de 5 m; c) manta no está perpendicular a la toma de la foto o video; y d) manta y buzo están muy cerca, lo que produce fotos sin el cuerpo completo de la manta (Fig. 21).

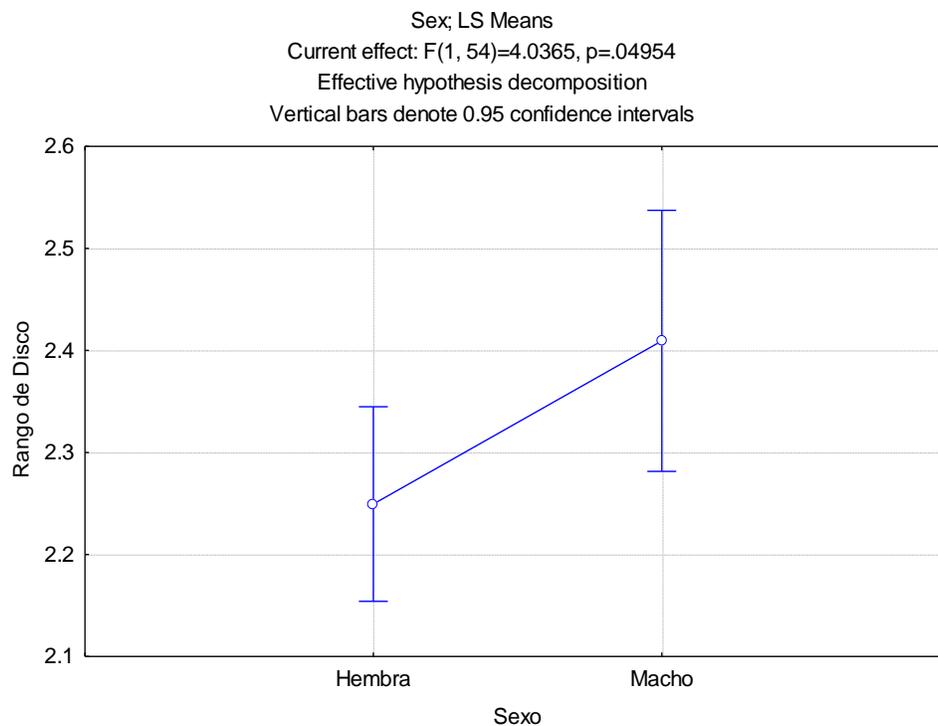


**Figura 21.** Fotografías de mantas que no fueron usadas para estimar la tallas los individuos de *M. birostris*. A) Burbujas del aire del buzo obstruyen la proyección de los láseres sobre la manta; B) La proyección de los láseres no se distinguen porque la manta y el buzo está distantes (>5 m); C) El ángulo de la manta no es el adecuado, además, los láseres no se proyectaron sobre la manta. D) manta y buzo están muy cerca, por lo tanto, la manta no es fotografiada completa.

De cada video se tomaron cuatro fotogramas con la manta bien posicionada y de cada fotograma se obtuvieron cuatro mediciones del ancho de disco y cuatro del largo de disco, generando un total de 32 medidas por individuo (16 AD y 16 LD). Estas medidas se corrigieron con el ajuste al factor de distorsión.

Se obtuvo el coeficiente de variación (CV) entre los datos de AD y LD obtenidos varias veces al mismo individuo. En general el promedio de CV del AD fue mayor (promedio CV= 7.62%) que el promedio de CV del LD (promedio LD= 4.34%). Esto revela que las medidas del LD son más precisas que las del AD. El CV de LD más alto fue de 12.36% y el más bajo fue de 0.3%, mientras que el CV del AD más alto fue 12.40% y el más bajo de 2%.

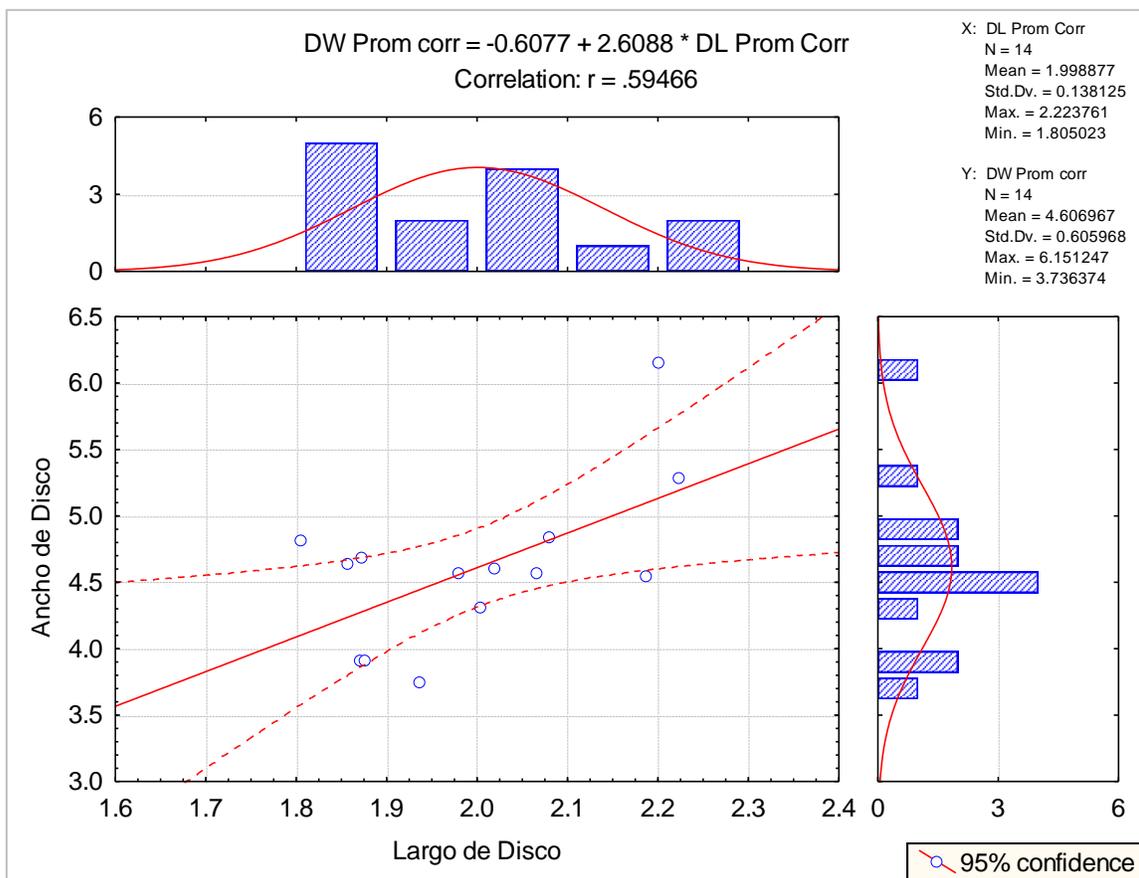
Para conocer si existe dimorfismo sexual entre machos y hembras de *M. birostris*, se obtuvo la proporción o rango de disco (RD), que toma en cuenta la razón AD/LD. El promedio del RD para los 14 individuos medidos fue de 2.3 y mostró diferencias entre el RD de hembras y machos ( $F = 4.03$ ,  $p < 0.05$ ), lo cual indica que los machos (RD= 2.4) tienen una proporción de disco ligeramente más grande que las hembras (RD= 2.24).



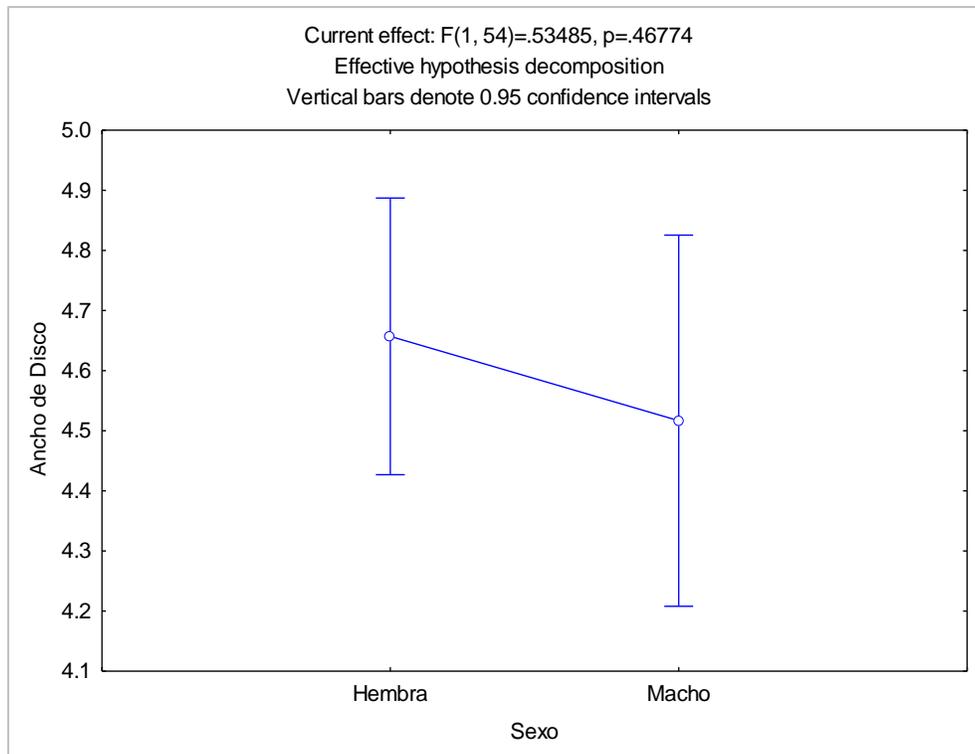
**Figura 22.** Proporción o rango del disco (RD) respecto al sexo (hembra, macho) de *M. birostris*.

Para cada individuo, la medida del AD fue trazada contra su correspondiente LD, obteniendo datos se acoplados al modelo lineal:  $AD = 2.6088 \cdot LD - 0.6077$ , con un coeficiente de correlación de  $r=0.594$  (Fig. 23).

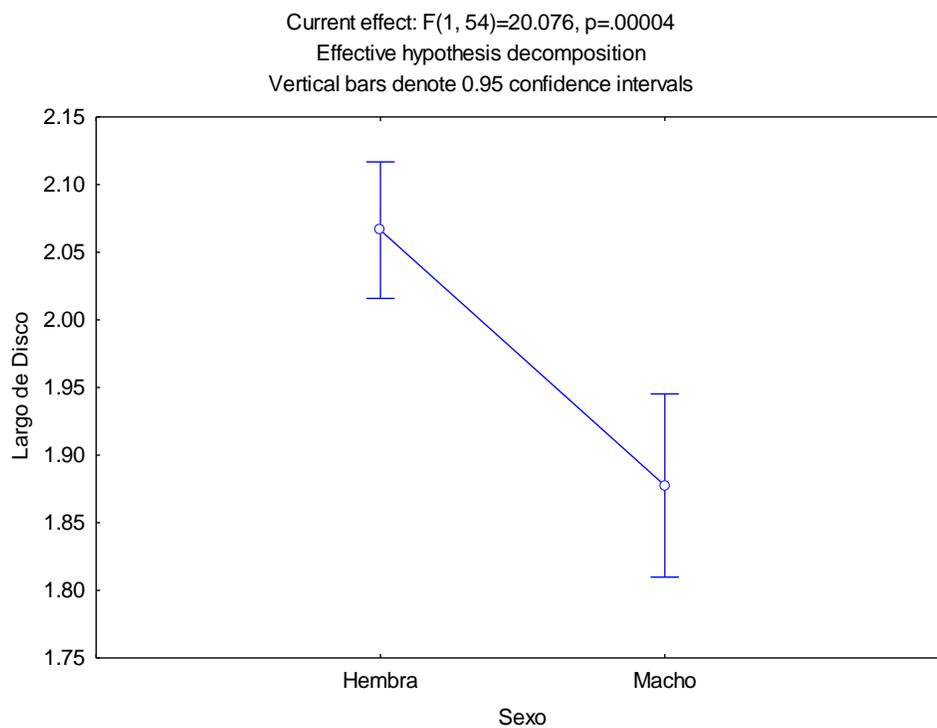
Con respecto a las tallas por sexo, las hembras fueron ligeramente más grandes que los machos (AD hembras=4.65 m; AD machos=4.51 m), sin embargo, la prueba estadística no mostró diferencias significativas con respecto el ancho del disco de los individuos ( $F=0.53$ ,  $p=0.46$ ) (Fig. 24). Sin embargo, sí existieron diferencias significativas entre las medidas del LD y los sexos ( $F=20.07$ ,  $p=0.001$ ) (Fig. 25), mostrando nuevamente que las hembras son más grandes que los machos (LD hembras= 2.06 m; LD machos= 1.87 m). La hembra más grande (6.2 m AD) fue 15% mayor en AD que el macho más grande (5.28 m AD). Por otro el macho más pequeño (3.9 m AD) fue 4% más grande que la hembra más pequeña (3.73 m AD).



**Figura 23.** Modelo lineal para el largo y ancho de disco de *Mobula birostris*.



**Figura 24.** Ancho de disco según el sexo de los individuos de *Mobula birostris*.



**Figura 25.** Largo de disco según el sexo de los individuos de *Mobula birostris*.

## DISCUSIÓN

En términos general esta investigación permitió aportar algunos rasgos poblacionales de *Mobula birostris* en las únicas dos regiones del Pacífico mexicano donde aún la Manta Gigante puede ser observada con regularidad, como son Bahía de Banderas (BB) y el Archipiélago de Revillagigedo. Los resultados obtenidos muestran algunos atributos de la estructura poblacional, los cuales serán discutidos en función de tres aspectos. El primero, en relación al tamaño poblacional de Manta gigante, el segundo en razón de los morfotipos, proporción de sexos, madurez y tallas, y por último en conexión relevante con el daño o heridas corporales observadas en las mantas en ambas regiones.

### Estructura Poblacional

Uno de los trabajos más completos sobre estructura poblacional es el Marshall *et al.* (2014) quienes registran más de 1000 individuos en la isla de la Plata, Ecuador, siendo este el reporte de tamaño población de *M. birostris* más grande del mundo. Para el Pacífico mexicano hay pocos estudios, destacando el trabajo que ha venido realizando el Dr. Robert Rubin en el Archipiélago de Revillagigedo, siendo fundador del grupo de Pacific Manta Research Group (PMRG) (<https://pacificmantaresearchgroup.shutterfly.com>) proyecto afiliado al programa Manta Trust (<https://www.mantatrust.org/>). PMRG ha realizado foto-identificación desde 1978 hasta la actualidad y su catálogo fotográfico incluye 650 individuos identificados. En este estudio se identificaron 216 individuos de *M. birostris*, de los cuales 76 mantas fueron observadas en el Archipiélago de Revillagigedo (6 expediciones de 2012 a 2015) y 140 mantas en Bahía de Banderas (2014-2016).

Estos datos confirman la relevancia del Archipiélago de Revillagigedo en términos de contener el mayor tamaño poblacional de *M. birostris* en México y nivel mundial (PMRG, 2015). Esta población se ha mantenido sana desde 1994 debido a que el archipiélago de Revillagigedo fue declarado Reserva de la Biosfera (máximo nivel de protección de un Área natural protegida). Esto limitó la pesca dentro Revillagigedo, suscitando que se convirtiera en el gran refugio y seguridad para tener una población sana y estable de manta. Ahora la manta gigante juega un papel protagónico en el archipiélago, ya que se estima que los viajes de buceo turístico al archipiélago de Revillagigedo han creado un gran negocio, para 2014 se estima generó cerca de 14 millones de dólares al año (entre tarifas de barco, hoteles, viajes por avión). De hecho los capitanes de los barcos indican que “este negocio deja de existir... si las mantas desaparecen” (Ruiz, 2015; Ruiz-Sakamoto, *et al.* 2018).

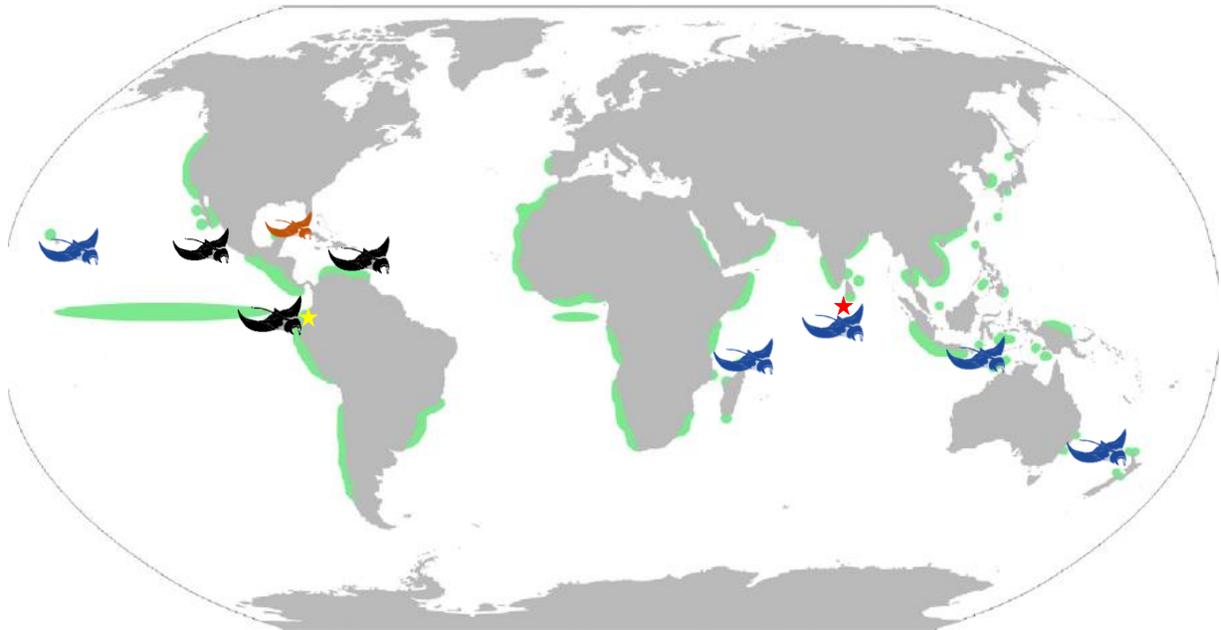
Por otra parte, en Bahía de Banderas (BB) antes de 2013 era anecdótica la existencia de una población “residente” de *M. birostris*. En el presente estudio se registran 140 individuos distintos de manta, lo que releva que a la fecha BB representa la segunda zona más importante en abundancia para el Pacífico mexicano. A diferencia de Revillagigedo, en esta región no existe turismo que aproveche el avistamiento de manta gigante y sin duda presenta un gran potencial turístico. La población de manta al parecer es residente, Stewart *et al.* (2016) colocaron marcas satelitales en mantas de BB y por sus movimientos espaciales sugirieron que es una población continental, distinta a la de Revillagigedo y con baja conectividad.

Para comprender por qué las mantas ocurren en estas regiones del Pacífico mexicano, Armstrong *et al.* (2016) manifiestan que los elasmobranchios zooplanctívoros como el tiburón ballena y las mantarrayas, habitan mayormente en aguas tropicales y subtropicales, ya que fisiológicamente son especies de aguas cálidas e impedidas de alimentarse en las aguas ricas en plancton de los polos. No obstante, las mantas viven en mares oligotróficos, buscan ámbitos y profundidad donde se produce o acumula zooplancton mayor a  $11.2 \text{ mg/m}^3$ . Se sabe las acumulaciones de plancton están relacionadas a la disponibilidad de nutrientes y en lugares donde ocurren surgencias (Fig. 26). Luiz *et al.* (2008) en Brasil relacionan la presencia estacional (junio-septiembre) de *M. birostris* con la presencia de un frente costero, que en invierno enriquece de plancton y alimentación para las mantas. Por su parte, Yumiceba (2014) en Ecuador explica la presencia de *M. birostris* por la influencia de la corriente de Humboldt que de julio a septiembre tienen aguas de elevada riqueza marina y elevada productividad.

En particular, la presencia estacional de manta en Bahía de Banderas, sin duda está relacionada con procesos de surgencia que producen elevada disponibilidad de alimento durante los meses de enero a abril, periodo donde se presentan los mayores avistamientos de manta. El área es una zona tropical, influenciada por varias masas de agua (corrientes de California, Nor-Ecuatorial y de Costa Rica). Estas corrientes junto con la batimetría, crea áreas de surgencia con alto contenido de nutrientes, que a su vez propician una alta productividad primaria y secundaria (Girón-Nava *et al.*, 2015).

En relación a las mantas gigantes del Archipiélago de Revillagigedo, no hay evidente estacionalidad en su presencia, debido a la presencia de tormentas tropicales de junio a octubre, lo cual impiden viajes de exploración al archipiélago. Sin embargo, Stewart *et al.* (2016) con marcas satelitales colocadas a cinco individuos de *M. birostris*, recolectaron

información geo-referenciada de la posición, temperatura del agua, profundidad y nivel de luz. La información recibida, permitió establecer que los individuos de manta de agosto a septiembre se mantienen más tiempo en aguas profundas, mientras que de abril a junio los individuos están principalmente en la superficie. Esta último, corresponde al periodo de mayor influencia de la Corriente de California que es sub-superficial (40 a 200), con baja temperatura y salinidad, y aguas ricas en nutrientes (Kessler, 2006). El hecho de que las mantas gigantes se mantengan en superficie o profundidades, indica de forma directa donde están las mayores agregaciones de alimento en esos tiempo. Stewart *et al.* (2016) mencionan que las mantas oceánicas utilizan la termoclina como señal para identificar zonas de alta densidad de zooplancton y maximice la eficiencia alimenticia.



**Figura 26.** Principales regiones de surgencias (verde) que coinciden con las agregaciones más grandes de mantarrayas. Estrella amarilla: población más grande de *M. birostris* (manta negra). Estrella roja: población más grande de *M. alfredi* (manta azul); Naranja: *Mobula cf. birostris*. (modificado de Poortvliet *et al.*, 2015).

El hecho que durante todo el año se tengan avistamientos de forma restringida de *M. birostris* en torno a las regiones de Bahía de Banderas y de Revillagigedo, y su confirmación con marcas satelitales, análisis genéticos y sus marcas de isótopos estables (Stewart *et al.* 2016), indican la presencia de dos poblaciones de mantas con su propia filopatria y permanencia residente en cada región geográfica. La filopatria también se ha observado en *M. alfredi* en Maldivas, ya que sus agregaciones (cientos de individuos), se observan durante

todo el año en distintas zonas de los atolones, estando relacionado directamente con la dirección de los Monzones. De diciembre a abril con vientos del noreste, las mantas se encuentran principalmente al oeste de los atolones; mientras que de mayo a noviembre, los vientos soplan del suroeste, las mantas se observan al este de los atolones. Los vientos en las distintas estaciones causan elevadas concentraciones de plancton que atrae a las mantas a estas zonas de alimentación (Kitchen-Wheeler, 2010). Esto contrasta con otros zooplanctívoros, como el tiburón ballena, que viven en espacios marinos similares, pero tienen largos movimientos espaciales con extensas migraciones con motivo de crianza, alimentación y crecimiento (Hearn *et al.*, 2016).

### **Características poblacionales de *Mobula birostris* - Morfotipos, Proporción de Sexos, Madurez Sexual y Estructura de Tallas.**

Una característica relevante de *M. birostris* es la presencia de los dos morfotipos (chevrón y negro). En este estudio se encontró en Bahía de Banderas una proporción chevrón y negro de 2.6:1, mientras que en Revillagigedo fue de 1.6:1, coincidiendo con lo reportado por Rubin (2010). El género *Mobula* es el único género de elasmobranchios que exhibe la coloración negra o melanística. A parte de la forma melanística, muchas especies de elasmobranchios han sido reportados por presentar leucismo. Coloración blanca presente en ambas especies de *Mobula* y no es albinismo (Marshall *et al.*, 2009). La condición leucística la describen especímenes con pigmentos reducidos o disminuidos (Clark, 2001). No se sabe por qué estos morfotipos han persistido o por qué son más comunes en algunas regiones que en otras (Rubin, 2002; Marshall *et al.*, 2009) pero se han descrito amplias variaciones en la distribución de las formas pigmentadas o no pigmentadas para otros animales marinos, como cetáceos (Marshall *et al.*, 2009). Kumli y Rubin (2011) afirman que el morfotipo negro está bien establecido junto con el morfotipo chevrón, en el sur del Golfo de California, Archipiélagos de Islas Marías, Revillagigedo (México) y Cocos (Costa Rica). Además, sostienen que ambos morfotipos no difieren en tamaño ni proporción sexual, lo cual se confirma en este estudio para ambas poblaciones del Pacífico Mexicano.

Respecto a la proporción sexual de hembras y machos fue de 1.5:1 en Bahía de Banderas y 1.1:1 en el Archipiélago de Revillagigedo encontrada en este estudio. Rubin (2010) obtuvo en Revillagigedo una proporción de hembra y macho de 3.3:1 en 2009 y 1.6:1 en 2010. En el caso de *M. alfredi* en la Gran Barrera Arrecifal, Australia presentan valores similares en hembras y machos entre 1.3:1 (isla Lady Elliot), 1.04:1 (isla North Stradbroke) y 1.2:1 (Bahía

Byron) (Couturier *et al.*, 2011); Mozambique con 3.5:1 (Marshall y Bennett, 2010); Maldivas 1.8:1 (Kitchen-Wheeler, 2013); Hawaii 1:1.1 (Deakos, 2010). Para la manta *Mobula sp. cf. birostris*, en el Caribe Mexicano se registró una proporción sexual de macho y hembra de 7:1 (Martínez, 2013), siendo la única región del mundo con elevada proporción de hembras. Couturier *et al.* (2011) explica que las distintas proporciones sexual indican que las hembras y machos ocupan el espacio de forma diferencial con una ligera tendencia del predominio de hembras sobre los machos de forma costera.

La segregación espacial sexual en elasmobranchios ha sido explicada desde una partición de recursos hasta la selección del hábitat basado en estrategias reproductivas. En estudios de comportamiento animal se menciona que las hembras podrían migrar, seleccionar u ocupar áreas que ofrezcan recursos estables de alimento y zonas de crianza, con temperatura cálida estable y donde la depredación o amenazas sean bajas (Marshall y Bennett, 2010). También la segregación puede estar relacionada con el sistema de apareamiento, basado en el potencial de un sexo para monopolizar recursos clave o compañeros de un sexo limitado (Emlen & Oring, 1977 citado en Deakos *et al.*, 2011). El sexo limitado suele ser más fuerte en el cuidado parental y cuanto mayor es el desequilibrio, más intra-sexual existe la competencia entre los miembros del otro sexo (Darwin, 1817 citado en Deakos *et al.*, 2011). Por los datos, las mantas hembras son el sexo limitante, ya que su única inversión parental es el periodo de gestación por 12 meses, y múltiples machos parecen competir por el acceso a una sola hembra en un tren de apareamiento. La dispersión de las hembras, o los recursos esenciales para las hembras, limita la capacidad de un macho monopolizar múltiples hembras (Deakos *et al.*, 2011). También, se intuye que las mantas tienen ovulación asincrónica, reduciendo así la competencia entre hembras y permitiendo que todas las hembras disponibles reproductivamente tengan la oportunidad de aparearse con mayor número de machos (Deakos, 2012), así la alta proporción de hembras, la baja proporción de machos y la posible ovulación asincrónica podrían garantizar un éxito reproductivo mayor para la especie. Esto es característico de especies con bajo tamaño poblacional, baja tasa de natalidad y por tanto lento crecimiento demográfico.

En adición a los aspectos sexuales, se observó baja tasa de individuos machos maduros (~4%) en Bahía de Banderas y ausencia de hembras preñadas en ambas regiones estudiadas. Si bien, en Revillagigedo existen esporádicos avistamientos de hembras grávidas, en general su población se compone significativamente de machos inmaduros y hembras maduras (Rubin

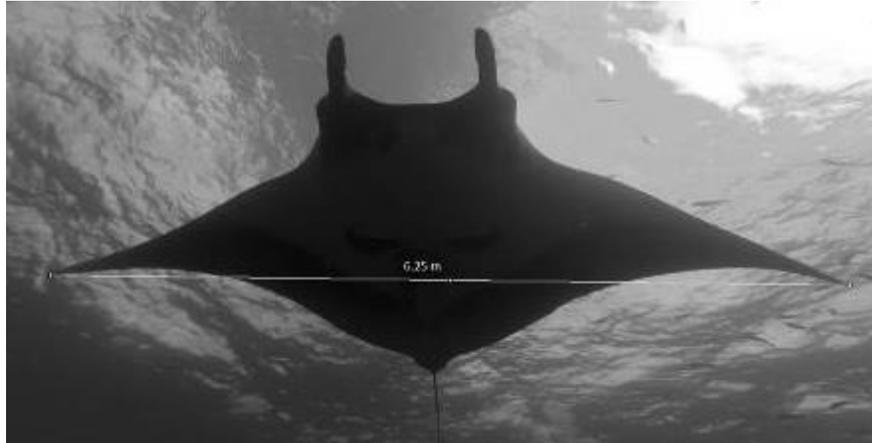
2010; Kumli y Rubin, 2011). Por lo tanto, la zona costera de Bahía de Banderas y el Archipiélago de Revillagigedo no puede ser considerada como áreas de reproducción.

Característica relevante en la estructura poblacional de cualquier especie, es la estructura de talla. En este estudio se empleó la fotometría láser para calcular con precisión las tallas de las mantas observadas. Se procuró descartar las fuentes de error como: usar monturas donde los punteros láser se mantengan paralelos y fijos, descartar imágenes con evidencia de paralaje y aplicar la corrección simple para controlar/corregir la distorsión de la imagen causada por la refracción de la luz y el lente gran angular. El cálculo del error producido por la distorsión fue en promedio de 2.2% en el ajuste. De la información obtenida, el promedio obtenido del coeficiente de variación (CV) del ancho del disco (AD) fue mayor (CV=7.62%) que el promedio de CV del largo del disco (LD) (4.34%), lo cual indica que las medidas del LD probaron ser la medida más exacta para estimar los tamaños corporales de las mantas. Esto concuerda con Deakos (2010) donde el LD es fue más preciso, ya que el AD es más difícil de obtener porque las aletas pectorales regularmente no están completamente extendidas, incluso en animales muertos donde la punta de las aletas se ondula o la textura se vuelve flácida, por tanto el AD de vuelve desconfiable (Notarbartolo-di-Sciara, 1987, Marshall *et al.*, 2009).

La proporción o rango del disco (RD) fue constante en sexo y edades (tamaños) y podría ser aplicado en estudios posteriores para estimar el AD con el LD o viceversa. El promedio de RD fue de 2.4, similar a lo reportado para especímenes de *M. alfredi* en Hawaii (Deakos, 2010) y Sudáfrica con RD de 2.21-2.37 (Marshall *et al.*, 2008). El RD para mantas oceánicas del este del Atlántico norte es de 2.2 (Bigelow y Schroeder, 1953 citado en Deakos, 2010) y en Indonesia de 2.16 a 2.29 (Marshall *et al.*, 2009).

En relación al promedio de talla individual de mantas en Revillagigedo y Bahía de Banderas, las hembras fueron más grandes que los machos tanto en AD como en LD. La manta más grande estimada en Revillagigedo fue de 6.2 m AD (Fig. 27) y de Bahía de Banderas fue de 6.0 m AD. Estas tallas son mayores a lo reportado en la manta de arrecife *M. alfredi*, que en promedio tienen 3.64 m AD (Deakos, 2010), mientras que el individuo más grande se ha reportado en Mozambique con 5.5 m AD, (Marshall *et al.*, 2009) y en Japón con 4.3 m AD (Kashiwagi *et al.*, 2008). Esto confirma que *M. birostris* es significativamente más grande que *M. alfredi*. Se sabe que hay una variabilidad geográfica en tamaño de *M. birostris*

y que presenta tallas de 4.94 m AD en Indonesia (White *et al.*, 2006) hasta 6.45 m AD en el este del Atlántico norte (Bigelow y Schroeder, 1953). También se tienen informes de AD de 7 m y reportes anecdóticos de 9.1 m (McClain *et al.*, 2015).



**Figura 27.** Manta gigante del archipiélago de Revillagigedo con el AD más grande registrado. M34

Según Dulvy *et al.* (2008) el hecho de que las mantas sean muy grandes se asocia con una maduración tardía y encaran grandes riesgos de sobreexplotación y extirpación. Por ello, las mantas gigantes son las especies más grandes de batoideos y son especialmente vulnerables. La hembra más grande en Bahía de Banderas fue 1% mayor en AD que el macho más grande (6 m y 5.5 m respectivamente) y en Revillagigedo la hembra más grande fue 15% mayor que el macho más grande. Esta última zona, confirma un dimorfismo sexual en su población residente.

El dimorfismo sexual por selección natural puede favorecer a hembras grandes, para tener mejores crías (Fairbairn 1977). Las mantarrayas tienen solo una cría de entre 1.1 a 1.5 m AD (Marshall *et al.*, 2009) y es cada 2 a 3 años (Homma *et al.*, 1999; Deakos, 2012; Couturier *et al.*, 2012; Dulvy *et al.*, 2014). La cría después de nacer no recibe cuidado parental, por tanto madres con tamaños grandes son capaces de producir crías más grandes, aumentando la probabilidad de sobrevivencia (Pack *et al.*, 2009). En manta gigante los machos son más pequeños que las hembras, pero se desconoce si los machos más grandes son seleccionados por la hembra o hay competencia entre los machos para la selección sexual con hembras y/o eligen aparearse con hembras más grandes. No se ha encontrado evidencia de intensas competencias físicas entre machos (Bercovitch, 1989 citado en Deakos, 2012). No obstante Andersson (1994 citado en Deakos, 2012) menciona el término “Endurance rivalry” o

“Rivalidad de resistencia”, que es la habilidad de mantenerse reproductivamente activo durante una larga temporada de apareamiento, lo cual podría favorecer a machos grandes por razones energéticas. Los machos grandes adultos pueden soportar un tren de apareamiento duradero (que puede ser de unas cuantas horas hasta días (Deakos, 2011), con un nadado continuo, giros abruptos, volteretas, especialmente si su habilidad para alimentarse, mientras está en persecución, es interrumpida o severamente inhibida. Por lo anterior, también se requieren tallas grandes en machos y entonces los intervalos de talla en hembras y machos no son notoriamente distintos. Por otro lado, el hecho que no se hayan presentado mantas pequeñas, >3.5 m, indica que en ninguna de las dos regiones de estudio son áreas de nacimiento y crianza.

### **Heridas corporales en *Mobula birostris***

Producto relevante de esta investigación es la información obtenida en ambas regiones estudiadas sobre la presencia de heridas y cicatrices en el cuerpo de los individuos. En Bahía de Banderas fue notoria la cantidad de individuos heridos (21% del total observado), siendo el 68% por actividad humana con dañando parcial o total de los lóbulos cefálicos y aletas pectorales. No obstante, el número de daños en machos y hembras fue similar (52% y 48% respectivamente), los machos presentaron más heridas antrópicas (83%) y las hembras presentaron más heridas relacionadas con una mordida de tiburón (60%). En Revillagigedo, el daño individual fue relativamente bajo (11%) y la mayoría fue de origen natural (78%). Es probable que el tipo de heridas presentes en machos y hembras explique sobre distinta distribución espacial entre machos, es decir los machos al tener la mayor proporción de heridas de origen antrópico residen en zonas de pesca, estando afectados por redes y líneas de pesca artesanal y deportiva, mientras que las hembras están más asociadas a zonas más oceánicas donde su principal depredador son tiburones.

Braun (2013) en el Mar Rojo sostiene que los “hotspots” de las mantas coinciden con las áreas de alto uso humano. Los golpes con embarcaciones producen alto índice de heridas y mortandad en muchos taxa marinos, como cetáceos, tortugas, manatís y mantas. También es indudable que las regiones con elevado tráfico de embarcaciones son áreas de alta productividad, como ocurre al sur de Bahía de Banderas. Estos severos daños a las mantas productos de la actividad humana (pesca), son altamente perjudiciales para los individuos ya que los lóbulos cefálicos son empleados para encausar su alimento (zooplancton) hacia la boca. Los individuos observaron con uno o dos lóbulo cefálicos reducidos o ausentes

evidentemente redujeron su eficiencia alimenticia. Falta seguir estudiando para medir los efectos en la sobrevivencia, tasa de crecimiento y éxito reproductivo, entre otras.

En Bahía de Banderas no solo la pesca es un peligro evidente de daño a las mantas, también debido al incremento turístico en las últimas dos décadas, es ahora uno de los destinos turísticos más importantes en México. En 2008 recibieron 2.3 millones de turistas nacionales y extranjeros (González *et al.*, 2008), siendo la industria turística la principal fuente de ingreso para Puerto Vallarta. Por tanto la gran cantidad de tráfico marítimo y la alta actividad pesquera en Bahía de Banderas, es la razón del elevado número de heridas (1/5 de la población) y esto tiende a seguir incrementando de forma exponencial sino se toman medidas de protección para el cuidado de las mantas, sin olvidar el enorme potencial eco-turístico y económico para esta región. Sin duda las mantas de Revillagigedo pueden correr el mismo riesgo aunque la proporción de heridas antrópicas es muy baja. Revillagigedo recibe 1900 turistas al año (~86.5 viajes/año), dejando una derrama económica de 14.1 millones de dólares al año (Ruíz, 2015); esto ha aumentado en casi el doble. Este turismo en 100% va dirigido al encuentro con mantas y los sitios de observación son escasos, por tanto es muy pertinente tomar medidas de manejo precautorias antes de que ocurran incidentes.

El estudio de poblaciones es de vital importancia para entender el comportamiento de estas y su interacción con los humanos. A medida que las poblaciones globales de elasmobranchios continúan disminuyendo y más zonas efectivas de no pesca se tengan, las opciones de “ecoturismo” se van incrementado como alternativa, alcanzando beneficios económicos de varias decenas de millones de dólares (USD) (Kitchen-Wheeler, 2010; O'Malley, 2013; Braun, 2013; Ruíz, 2015; Ruiz-Sakamoto *et al.*, 2018). Actualmente para los turistas de buceo scuba y esnórquel son famosos los destinos como Maldivas, Australia, Hawaii, Indonesia, Mozambique, Golfo de México y Revillagigedo, debido al importante número de manta gigante y al carisma de esta especie. Sin embargo, inadecuados manejo turísticos puede provocar impactos negativos a las poblaciones de manta como lo sucedido en sitios muy frecuentados, como Bora Bora (Braun, 2013). Por lo tanto, se debe desarrollar adecuadas políticas públicas, con prácticas de ecoturismo bien diseñado, con su correspondiente observación y vigilancia de las zonas y sus actividades.

## CONCLUSIONES

- Se identificaron 216 individuos de *M. birostris*, 76 ellas del Archipiélago de Revillagigedo (2012 a 2015) y 140 mantas de Bahía de Banderas (2014-2016), confirmando la relevancia ambas regiones, como la primera y segunda zonas de México y del mundo con las mayores densidades de mantas gigante en la actualidad.
- Se confirma que las poblaciones de manta en Bahía Banderas y Revillagigedo tienen su propia filopatria y se mantienen en cada región por ser zonas de alimentación.
- Las poblaciones de manta en Bahía de Banderas y Revillagigedo tienen similitud en morfotipos (chevrón/negro, 2.6:1 y 1.6:1, respectivamente), sexual (hembras/machos, 1.5:1 y 1.1:1, respectivamente), pocos machos maduros (4%) en Bahía de Banderas y sin hembras preñadas, sugiriendo que su región costera no son áreas de reproducción.
- Con fotometría láser calculó de forma precisa las tallas de las mantas, indicando que el largo de disco es la medida más adecuada para estimar sus tamaños corporales. En Revillagigedo la hembra más grande fue 15% mayor que el macho más grande, confirmando el dimorfismo sexual en su población residente.
- No se presentaron tallas pequeñas de manta (>3.5 m), indicando que ninguna de las dos regiones de estudio son áreas de nacimiento y crianza.
- En Bahía de Banderas fue notoria el número de individuos heridos (21% del total observado), siendo el 68% por actividad humana. Los machos con mayor heridas antrópicas (83%) y las hembras con más heridas naturales (60%). En Revillagigedo, el daño individual fue relativamente bajo (12%) y la mayoría fue de origen natural (78%). Estos daños por la pesca, son altamente perjudiciales para las mantas ya que inciden negativamente en su alimentación y sobrevivencia, por tanto se deben tomar urgentes medidas de protección.
- En Revillagigedo el turismo va dirigido al encuentro con mantas y los sitios de observación son escasos, por tanto es muy pertinente tomar medidas de manejo precautorias para evitar daños corporales a las mantas. Por lo tanto, se debe desarrollar adecuadas políticas públicas, con prácticas de ecoturismo bien diseñado, con su correspondiente observación y vigilancia de las zonas y sus actividades.

## REFERENCIAS

- Araujo, G. Lucey, A. LaBaja, J. Lee So, C. Snow, S. y Ponzo, A. 2014. Population structure and residency patterns of whale sharks, *Rhincodon typus*, at a provisioning site in Cebu, Philippines. *PeerJ*. 2: 1-20.
- Armstrong, A. O. Armstrong, A. J. Jaine, F. R. A. Couturier, L. I. E. Fiora, K. Uribe-Palomino, J. Weeks, S. J. Townsend, K. A. Bennett, M. B. y Richardson, A. J. 2016. Prey Density Threshold and Tidal Influence on Reef Manta Ray Foraging at an Aggregation Site on the Great Barrier Reef. *PLoS ONE*. 11: 1-18.
- Bansemer, C. S. y Bennett, M. B. 2010. Retained fishing gear and associated injuries in the east Australian grey nurse sharks (*Carcharias taurus*): implications for population recovery. *Marine and Freshwater Research*. 61: 97-103.
- Bearez, P. 1996. Lista de los peces marinos del Ecuador continental. *Revista Biología Tropical*. 44: 731-741.
- Bejder, L. Fletcher, D. y Bräger, S. 1998. A method for testing association patterns of social animals. *Animal Behaviour*. 56: 719-725.
- Bell, C. Hindell, M. y Burton, H. 1997. Estimation of body mass in the southern elephant seal, *Mirounga leonina*, by photogrammetry and morphometrics. *Marine Mammal Science*. 13
- Best, P. y Ruther, H. 1992. Aerial photogrammetry of southern right whales, *Eubalaena australis*. *Journal of Zoology*. 228: 669-682.
- Brault, S. y Caswell, H. 1993. Pod-specific demography of killer whales (*Orcinus orca*). *Ecology*. 74: 1444-1454.
- Braun, C. D. 2013. Movement Ecology of the Reef Manta Ray *Manta alfredi* in the Eastern Red Sea. Tesis de Maestría. King Abdullah University of Science and Technology. 58 pp.
- Calambokidis, J. Steiger, G. Evenson, J. y Flynn, K. 1996. Interchange and isolation of humpback whales off California and other North Pacific feeding grounds. *Marine Mammal Science*. 12: 215-226.
- Canese, S. Cardinale, A. Romeo, T. Giusti, M. Salvati, E. Angiolillo, M. y Greco, S. 2011. Diving behavior of the giant devil ray in the Mediterranean Sea. *Endangered Species Research*. 14: 171-176.
- Castro, A. L. F. y Rosa, R. S. 2005. Use of natural marks on population estimates of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, at Atol das Rocas Biological Reserve, Brazil. *Environmental Biology of Fishes*. 72: 213-221.
- Castro-Aguirre, J. L. y Balart, E. F. 1975. La ictiofauna de las islas Revillagigedo y sus relaciones zoogeográficas, con comentarios acerca de su origen y evolución. Libro Jubilar.

18 pp.

- Clark, S. Odell, D. y Lacinak, C. 2000. Aspects of growth in captive killer whales (*Orcinus orca*). *Marine Mammal Science*. 16: 110-123.
- Clark, T. B. 2001. Population structure of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) from the Pacific and Atlantic oceans. Tesis de: Maestro en Ciencias. Texas A&M University. 78 pp.
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). Web: [www.cites.org](http://www.cites.org). Consultado el: 20 de Noviembre de 2016.
- Cortés, J. Sánchez-Jiménez, A. Rodríguez-Arrieta, A. Quirós-Barrantes, G. González, P. C. y Blum, S. 2012. Elasmobranchs observed in deepwaters (45-330m) at Isla del Coco National Park, Costa Rica (Eastern Tropical Pacific). *Revista Biología Tropical*. 60: 257-273.
- Couturier, L. I. E. Jaine, F. R. A. Townsend, K. A. Weeks, S. J. Richardson, A. J. y Bennett, M. B. 2011. Distribution, site affinity and regional movements of the manta ray, *Manta alfredi* (Kreff, 1868), along the east coast of Australia. *Marine and Freshwater Research*. 62: 628-637.
- Couturier, L. I. E. Jaine, F. R. A. y Kashiwagi, T. 2015. First photographic records of the giant manta ray *Manta birostris* off eastern Australia. *PeerJ*. 3: 1-9.
- Couturier, L. I. E. Marshall, A. D. Jaine, F. R. Kashiwagi, T. Pierce, S. J. Townsend, K. A. Weeks, S. J. Bennett, M. B. y Richardson, A. D. 2012. Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *Journal of fish Biology*. 80: 1075-1119.
- Cubbage, J. y Calambokidis, J. 1987. Size-class segregation of bowhead whales discerned through aerial stereophotogrammetry. *Marine Mammal Science*. 3: 179-185.
- De Boer, M. N. Saulino, J. T. Lewis, T. P. y Notarbartolo-di-Sciara, G. 2015. New records of whale shark (*Rhincodon typus*), giant manta ray (*Manta birostris*) and Chilean devil ray (*Mobula tarapacana*) for Suriname. *Marine Biodiversity Records*. 8: 1-8.
- Deakos, M. H. 2010. Paired-laser photogrammetry as a simple and accurate system for measuring the body size of free-ranging manta rays *Manta alfredi*. *Aquatic Biology*. 10: 1-10.
- Deakos, M. H. 2012. The reproductive ecology of resident manta rays (*Manta alfredi*) off Maui, Hawaii, with an emphasis on body size. *Environmental Biology of Fishes*. 94: 443-456.
- Deakos, M. H. Baker, J. D. y Bejder, L. 2011. Characteristics of a manta ray *Manta alfredi* population off Maui, Hawaii, and implications for management. *Marine Ecology Progress Series*. 429: 245-260.
- Dewar, H. Mous, P. Domeier, M. Muljadi, A. Pet, J. y Whitty, J. 2008. Movements and Site Fidelity of the Giant Manta Ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia.

- Marine Biology*. 155: 121-133.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2006. Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Domeier, M. L y Nasby-Lucas, N. 2007. Annual re-sightings of photographically identified white sharks (*Carcharodon carcharias*) at an eastern Pacific aggregation site (Guadalupe Island, Mexico). *Marine Biology*. 150: 977-984.
- Duffy, C. A. J. y Abott, D. 2003. Sightings of mobulid rays from northern New Zealand, with confirmation of the occurrence of *Manta birostris* in New Zealand waters. New Zealand. *Marine and Freshwater Research*. 37: 715-721.
- Dulvy, N. K. Baum, J. K. Clarke, S. Compagno, L. J. V. Cortés, E. Domingo, A. Fordham, S. Fowler, S. Francis, M. P. Gibson, C. Martínez, J. Musick, J. A. Soldo, A. Stevens, J. D. y Valenti, S. 2008. You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 18: 459-482.
- Dulvy, N. K. Pardo, S. A. Simpfendorfer, C. A. y Carlson, J. K. 2014. Diagnosing the dangerous demography of manta rays using life history theory. *PeerJ* 2: 1-19.
- Galbany, J. Stoinski, T. S. Abavandimwe, D. Breuer, T. Rutkowski, W. Batista, N. V. Ndagijimana, F. y McFarlin, S. C. 2016. Validation of two independent photogrammetric techniques for determining body measurements of gorillas. *American Journal of Primatology*. 78: 418-431.
- Girondot, M. Bédel, S. Delmoitié, L. Russo, M. Chevalier, J. Guéry, L. Ben-Hassine, S. Féon, H. y Jribi, I. 2014. Spatio-temporal distribution of *Manta birostris* in French Guiana waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 95: 153-160.
- Girón-Nava, A. Stewart, J. Ruiz-Sakamoto, A. y Aburto-Oropeza, O. 2015. Why are mantas in Bahía de Banderas, Mexico?. *DataMares*. InteractiveResource. <http://dx.doi.org/10.13022/M3K011>.
- González-Díaz, A.A. y Soria-Barreto, M. Lista sistemática preliminar de los peces del estado de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*. 2: 200-215.
- González-Romero, D. Pérez, M. T. y Rivera, E. 2008. El turismo y sus penumbras: Puerto Vallarta, un lugar turístico en la encrucijada de la planeación. *Revista URBANO*. 18: 24-34.
- Graham, R. y Roberts, C. 2007. Assessing the size, growth rate and structure of a seasonal population of whale sharks (*Rhincodon typus* Smith 1828) using conventional tagging and photo identification. *Fisheries Research*. 84: 71-80.

- Hearn, A. R., J. Green, M. H. Román, D. Acuña-Marrero, E. Espinoza, A. P. Klimley. 2016. Adult female whale sharks make long-distance movement past Darwin Island (Galapagos, Ecuador) in the Eastern Tropical Pacific. *Marine Biology*, 163: 214
- Hernández-Velazquez, V. Berlanga-Padilla, A. M. y Garza-González, E. 1997. Detección de *Metarhizium flavoviride* sobre *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Orthoptera:Acrididae) en la isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México. *Vedalia*. 4: 46-47.
- Holmberg, J. Norman, B. y Arzoumanian, Z. 2009. Estimating population size, structure and residency time for whale sharks *Rhincodon typus* through collaborative photoidentification. *Endangered Species Research* 7: 39-53.
- Homma, K. Maruyama, T. Itoh, T. Ishihara, H. y Uchida, S. 1999. Biology of the manta ray, *Manta birostris* Walbaum, in the Indo-Pacific. *En* : Seret, B. Sire, JY (eds) Indo-Pacific fish biology: proceedings of the fifth international conference on Indo-Pacific fishes, Noumea, 1997, France, 1999. Ichthyological Society of France. 1: 209-216.
- Jeffreys, G. L. Rowat, D. Marshall, H. y Brooks, K. 2013. The development of robust morphometric indices from accurate and precise measurements of free-swimming whale sharks using laser photogrammetry. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 93: 309-320.
- Kashiwagi, T. Ito, T. Ovenden, J. y Bennett, M. 2008. Population characteristics of *Manta birostris* observed in Yaeyama, Okinawa, Japan, 1987–2006. *En*: Donnelly, M.A (ed) Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists*. 235 pp.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 171-217.
- Kitchen-Wheeler, A. M. 2010. Visual Identification of Individual Manta Ray (*Manta alfredi*) in the Maldives Islands, Western Indian Ocean. *Marine Biology Research*. 6: 351-363.
- Kitchen-Wheeler, A. M. 2013. The behavior and ecology of Alfred mantas (*Manta alfredi*) in the Maldives. Tesis de: Doctor en ciencias. Newcastle University. 379 pp.
- Klimley, A. y Brown, S. 1983. Stereophotography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks. *Marine Biology*. 74:175-185.
- Kumli, K. R. y Rubin, R. D. 2011. Photo-Identification of the Manta ray, *Manta birostris*, in the Revillagigedos Islands, Mexico. *En*: Las Memorias de la IV Reunión Internacional de Investigadores del Archipiélago de Revillagigedo. 13 pp.
- Langtimm, C. Beck, C. Edwards, H. Fick-Child, K. Ackerman, B. Barton, S. y Hartley, W. 2004. Survival estimates for Florida manatees from the photo-identification of individuals. *Marine*

- Mammal science*. 20: 438-463.
- Luiz, O. J. Balboni, A. P. Kodja, G. Andrade, M. y Marum, H. Seasonal occurrences of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southern Brazil. *Ichthyological Research*. Manta Trust. 2018. <https://www.mantatrust.org/>. Visitado en junio del 2018.
- Marshall A. D. y Bennett, M. B. 2010. Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Journal of Fish Biology*. 77: 169-190.
- Marshall, A. Dudgeon, C. L. y Bennett, M. B. 2011. Size and structure of a photographically identified population of manta rays *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Marine Biology*. 158: 1111-1124.
- Marshall, A. 2008. Biology and Population Ecology of *Manta birostris* in Southern Mozambique. Tesis de: Doctor en ciencias. University of Queensland. Australia. 306 pp.
- Marshall, A. D. Compagno, L. J. V. y Bennett, M. B. 2009. Redescription of the genus *Manta* with resurrection of *Manta alfredi* (Krefft, 1868) (Chondrichthyes; Myliobatoidae; Mobulidae). *Zootaxa*. 2301: 1-28.
- Marshall, A. D. Pierce, S. J. y Bennett, M. B. 2008. Morphological measurements of manta rays (*Manta birostris*) with a description of a foetus from the east coast of Southern Africa. *Zootaxa*. 1717: 24-30.
- Marshall, A. Guerrero, M. Winstanley, G. y Burges, K. 2014. Reporte de Investigación Anual 2013. Marine Megafauna Foundation (MMF). NAZCA. 13 pp.
- Martínez, D. A. 2013. Foto identificación de manta gigante (*Manta birostris*; Walbaum, 1792) en las áreas naturales protegidas del Caribe mexicano. Tesis de: Licenciado en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 81 pp.
- McClain, C. R. Balk, M. A. Benfield, M. C. Branch, T. A. Chen, C. Cosgrove, J. Dove, A. D. M. Gaskins, L. C. Helm, R. R. Hochberg, F. G. Lee, F. B. Marshall, A. McMurray, S. E. Schanche, C. Stone, S. N. y Thaler, A. D. 2015. Sizing ocean giants: patterns of intraspecific size variation in marine megafauna. *PeerJ*. 3: 1-69.
- Mejía-Falla, P. A. Navia, A. F. Lozano, R. Tobón-López, A. Narváez, K. Muñoz-Osorio, L. A. Mejía-Ladino, L. y López-García, J. 2013. Uso de hábitat de *Triaenodon obesus* (Carcharhiniformes: Carcharhinidae), *Rhincodon typus* (Orectolobiformes: Rhincodontidae) y *Manta birostris* (Myliobatiformes: Myliobatidae) en el Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano. *Revista Biología Tropical*. 62: 329-342.
- Milessi, A. C. y Oddone, M. C. 2003. Primer registro de *Manta birostris* (Batoidea: Mobulidae) en el Río de La Plata, Uruguay. *Gayana (Concepcion)*. 67: 127-130.
- Moncayo-Estrada, R. Castro-Aguirre, J. L. y De la Cruz-Agüero, J. 2006. Lista sistemática de

- la ictiofauna de Bahía de Banderas, México. *Revista Mexicana de biodiversidad*. 77: 67-80.
- Mourier, J. 2012. Manta rays in the Marquesas Islands: first records of *Manta birostris* in French Polynesia and most easterly location of *Manta alfredi* in the Pacific Ocean, with notes on their distribution. *Journal of Fish Biology*. 81: 2053-2058.
- Notarbartolo-di-Sciara, G. 1987. A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 91: 1-91.
- Notarbartolo-di-Sciara, G. 1988. Natural History of the Rays of the Genus *Mobula* in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*. 86: 45-66.
- O'Malley, M. P. Lee-Brooks, K. y Medd, H. B. 2013. The Global economic impact of manta ray watching tourism. *PLoS ONE*. 8: 1-11.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2016. La UNESCO incluye al Archipiélago de Revillagigedo en la lista del patrimonio mundial. Web: [http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/la\\_unesco\\_incluye\\_al\\_archipelago\\_de\\_revillagigedo\\_en\\_la\\_li/#.WAKD1ujhDcs](http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/la_unesco_incluye_al_archipelago_de_revillagigedo_en_la_li/#.WAKD1ujhDcs).
- Pacific Manta Research Group (PMRG). 2015. Manta resightings in the Revillagigedo archipelago. 20 pp.
- Pacific Manta Research Group. <https://pacificmantaresearchgroup.shutterfly.com>. Visitado en junio del 2018.
- Pack, A. Herman, L. Spitz, S. Hakala, S. Deakos, M. y Herman, E. 2009. Male humpback whales in the Hawaiian breeding grounds preferentially associate with larger females. *Animal Behaviour*. 77: 653-662.
- Perryman, W. y Lynn, M. 1993. Identification of geographic forms of common dolphin (*Delphinus delphis*) from aerial photogrammetry. *Marine Mammal Science*. 9: 119-137.
- Proyecto Mantas Ecuador. 2012. Web: <http://www.mantasecuador.org/> Consultado: 3 de Marzo de 2017.
- Rizzo, A. A. Stuart, A. W. y Thompson, P. A. 2016. A paired-laser photogrammetric method for In Situ length measurements of benthic fishes. *North American Journal of Fisheries Management*. 37.
- Rodriguez, M. E. 2000. Potencia turístico e impacto de la observación de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en Bahía de Banderas, México. Tesis de: Licenciado en Biología. Universidad de Guadalajara. 135 pp.
- Rohner, C. A. Pierce, S. J. Marshall, A. D. Weeks, S. J. Bennett, M. B. y Richardson, A. J. 2013. Trends in sightings and environmental influences on a coastal aggregation of manta

- rays and whale sharks. *Marine Ecology Progress Series*. 482: 153-168.
- Rohner, C. A. Richardson, A. J. Marshall, A. D. Weeks, S. J. y Pierce, S. J. 2011. How large is the world's largest fish? Measuring whale sharks *Rhincodon typus* with laser photogrammetry. *Journal of Fish Biology*. 78: 378-385.
- Rohner, C. A. Richardson, A. J. Prebble, C. E. M. Marshall, A. D. Bennett, M. B. Weeks, S. J. Cliff, G. Wintner, S. P. y Pierce, S. J. 2015. Laser photogrammetry improves size and demographic estimates for whale sharks. *PeerJ*. 3: 1-20.
- Rubin, R. D. 2002. Manta rays: nota all black and white. *Shark Focus*. 15 pp.
- Rubin, R. D. 2010. Distribution, Movements and Habitat Preference of the Manta Ray: *Manta birostris*, at the Revillagigedo Islands of Mexico. Progress Report: Field Studies Revillagigedo Islands. 17 pp.
- Ruiz, A. 2015. Estimación del valor económico total y catálogo de foto identificación de la manta gigante (*Manta birostris* Walbaum, 1792) en el Archipiélago de Revillagigedo. Tesis de: Licenciatura. Universidad autónoma de Baja California Sur. 55 pp.
- Ruiz-Sakamoto, A. Sánchez-Ortiz, C. Stewart, J. D. y Aburto-Oropeza, O. 2018. La manta gigante: el diamante de Revillagigedo. CONABIO. Biodiversitas, 136: 1-7.
- Sáenz-Arroyo, A. Roberts, C. Torre, J. Cariño-Olvera, M. y Hawkins, J. 2006. The value evidence about past abundance: marine fauna of the Gulf of California through the eyes of 16 th to 19 century travellers. *Fish ans Fisheries*. 7: 128-146.
- Sibaja-Cordero, J. A. 2008. Tendencias espacio-temporales de los avistamientos de fauna marina en los buceos turísticos (Isla del Coco, Costa Rica). *Revista Biología Tropical*. 56: 113-132.
- Sleeman, J. C. Meekan, M. G. Wilson, S. G. Jenner, C. K. S. Jenner, M. N. Boggs, G. S. Steinberg, C. C. y C. J. Bradshaw. 2007. Biophysical Correlates of Relative Abundances of Marine Megafauna at Ningaloo Reef, Australia. *Marine and Freshwater Research* 58: 608-623.
- Speed, C. W. Meekan, M. G. Rowat, D. Pierce, S. J. y Marshall, A. D. 2008. Scarring patterns and relative mortality rates of Indian Ocean whale sharks. *Journal of Fish Biology*. 72: 1408-1503.
- Spitz, S. S. Herman, L. M. y Pack, A. A. 2000. Measuring the size of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) by underwater videogrammetry. *Marine Mammal Science*. 16: 664-676.
- Stewart, J. y Aburto-Oropeza, O. 2015. Rastreado a las Mantas en el Pacífico de México. DataMares. Interactive Resource. Web: <http://dx.doi.org/10.13022/M3TG6X>.

- Stewart, J. Beale, C. S. Fernando, D. Sianipar, A. B. Burton, R. S. Semmens, B. X. y Aburto-Oropeza, O. 2016. Spatial ecology and conservation of *Manta birostris* in the Indo-Pacific. *Biological Conservation*. 200: 178-183.
- Stewart, J. Hoyos-Padilla, E.M. Kumli, K. y Rubin, R. 2016. Deep-water feeding and behavioral plasticity in *Manta birostris* revealed by archival tags and submersible observations. *Zoology*. 119: 406-413.
- Thorrold, S. R. Afonso, P. Fontes, J. Braun, C. D. Santos, R. S. Skomal, G. B. y Berumen, M. L. 2014. Extreme diving behaviour in devil rays links Surface waters and the deep ocean. *Nature Communications*. 5274: 1-7.
- Waters, S. y Whitehead, H. 1990. Population and growth parameters of Galapagos sperm whales estimated from length distributions. *International Whaling Commission*. 40: 225-235.
- White, W. T. Giles, J. y Dharmadi, P. I. C. 2006. Data on the bycatch fishery and reproductive biology of mobulid rays (Myliobatiformes) in Indonesia. *Fisheries Research*. 82: 65-73.
- Wijeyamohan, S. Sivakumar, V. Read, B. Schmitt, D. Krishnakumar, S. y Santiapillai, C. 2012. A simple technique to estimate linear body measurements of elephants. *Current Science*. 102: 26-28.
- Yumiceba, V. P. 2014. Estudio preliminar de diversidad genética de *Manta birostris* que visitaron la Isla de la Plata durante los años 2010, 2011 y 2012. Tesis de: Ingeniería en Procesos Biotecnológicos. Universidad San Francisco de Quito. 72 pp.