



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



Movimientos y residencia de la manta gigante
***Mobula birostris* en el Océano Pacífico**
mexicano

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

PAUL ANTONIO PRECIADO GONZALEZ

LA PAZ, B.C.S., FEBRERO 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.**, siendo las **12:00** horas del día **11** del mes de **ENERO** del **2021** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS** para examinar la tesis titulada: **“MOVIMIENTOS Y RESIDENCIA DE LA MANTA GIGANTE *Mobula birostris* EN EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO”** del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	PRECIADO	Apellido Materno:	GONZÁLEZ	Nombre (s):	PAÚL ANTONIO
-------------------	----------	-------------------	----------	-------------	--------------

Número de registro: **A 1 9 0 5 0 1**
Aspirante del Programa Académico de Posgrado: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS**

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene **21** % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** **NO** **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:
Las similitudes corresponden a las referencias, las cuales se citaron y referenciaron adecuadamente en el documento.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

“SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES”

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Rogelio G.A.
DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

Director de Tesis
Nombre completo y firma

[Firma]
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

Nombre completo y firma

[Firma]
DR. MANUEL LEÓN ZETINA REJÓN

Nombre completo y firma

Hoyos Padilla Mauricio
DR. EDGAR MAURICIO HOYOS PADILLA

Director de Tesis
Nombre completo y firma

[Firma]
DR. JAMES THOMAS KETCHUM

Nombre completo y firma

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO

Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 15 del mes de Enero del año 2021

El (la) que suscribe BIÓL. MAR. PAUL ANTONIO PRECIADO GONZÁLEZ Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A190501 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS Y DR. EDGAR MAURICIO HOYOS PADILLA

y cede los derechos del trabajo titulado:

“MOVIMIENTOS Y RESIDENCIA DE LA MANTA GIGANTE *Mobula birostris* EN EL OCÉANO PACÍFICO MEXICANO”

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: paulpg93@gmail.com- rarmas@ipn.mx -

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. MAR. PAUL ANTONIO PRECIADO GONZÁLEZ

Nombre y firma del alumno

AGRADECIMIENTOS

TO MAILOB...

A mi familia Antonio, Maura y Violeta por seguir apoyando, sufriendo y disfrutando de estos dos años de maestría conmigo.

A CICIMAR y a Pelagios Kakunjá por el apoyo institucional brindado para llevar a cabo mi proyecto y crecer como profesionista.

A los miembros del colectivo Manta Pacífico de quienes aprendí bastante en cada reunión, salida a campo y presentaciones realizadas. Gracias a los voluntarios que compartieron sus registros de mantas observadas en La Reina.

A Georgina Saad por dedicar su tiempo y atención para enseñarme a ser mejor persona tanto en lo personal como en lo profesional. Estuviste conmigo para ser una directora no oficial de mi proyecto. Gracias por apoyarme en los momentos difíciles a lo largo de mi maestría, por impulsarme en cada idea que tuve y darme la oportunidad de aprender de ti y trabajar contigo.

A los miembros de mi comité: Dr. Rogelio González, Dr. Mauricio Hoyos, Dr. Felipe Galván, Dr. James Ketchum y Dr. Manuel Zetina. De ustedes aprendí mucho, cada uno tiene una forma diferente de enseñar y demostrar su pasión por la ciencia, sin duda sus enseñanzas quedarán en mí por siempre.

Un agradecimiento especial al Dr. Rogelio González Armas por su apoyo constante desde el primer día en que me conoció, por sus consejos y por estar pendiente de mí en lo académico y lo personal.

A la Dra. Frida Lara por haberme apoyado desde un inicio con mi anteproyecto de tesis y con asesorías sobre telemetría y otros aspectos durante mi maestría.

A Natalia (la indicada) por tu tiempo, tu comprensión y tu apoyo incondicional para estar conmigo cuando necesité una segunda opinión, a una persona con quién practicar mis presentaciones y por leer mi tesis muchas veces en búsqueda de errores o detalles. ¡¡¡No mancheees!!! jaja

A CONACYT por el apoyo económico brindado a través de la beca de posgrado.

CONTENIDO

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL	I
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABLAS.....	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1 Telemetría acústica.....	4
2.3 Foto identificación	5
III. JUSTIFICACIÓN	8
IV. HIPÓTESIS	9
V. OBJETIVOS	9
5.1 Objetivo general.....	9
5.2 Objetivos específicos	9
VI. MATERIALES Y MÉTODO.....	10
6.1 Área de estudio.....	10
6.1.1 Parque Nacional Revillagigedo.....	10
6.1.3 Bahía de Banderas	12
6.1.3 La Reina, B.C.S.	13
6.2 Marcaje	14
6.3 Red de receptores acústicos	14
6.4 Filtrado de datos	15
6.5 Movimientos diarios	15
6.6 Residencia y estacionalidad	16
6.7 Movimientos locales y migraciones regionales	16
6.8 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina.....	17
VII. RESULTADOS	20
7.1 Marcaje y patrones de detección	20
7.2 Movimientos diarios	24

7.3 Residencia y estacionalidad	25
7.4 Migraciones locales y regionales	28
7.4.1 Movimientos intrainsulares y locales.....	29
7.4.1 Movimientos interinsulares y migraciones en el Pacífico mexicano.....	30
7.5 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina.....	34
VIII. DISCUSIÓN.....	37
8.1 Movimientos diarios	37
8.2 Residencia y estacionalidad	38
8.3 Migraciones locales y regionales	40
8.3.1 Movimientos intrainsulares y locales.....	40
8.3.2 Movimientos interinsulares y migraciones en el Pacífico mexicano.....	41
8.4 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina.....	43
IX. CONCLUSIONES	45
X. BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXO 1.....	58
ANEXO 2.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Áreas de estudio: Parque Nacional Revillagigedo, Bahía de Banderas y La Reina.....	10
Figura 2. Parque Nacional Revillagigedo.	12
Figura 3. Islote La Reina. Fotografía aérea: Erick Higuera.....	14
Figura 4. Ejemplo de fotografía utilizada para identificar a las mantas gigantes. Autor: Paola Ruffo.....	18
Figura 5. Láseres colocados junto a una cámara de video submarina.....	19
Figura 6. Número de mantas marcadas por año en cada área de estudio.	20
Figura 7. Detecciones registradas de las mantas marcadas en el periodo de estudio.	23
Figura 8. Movimientos diarios de las mantas gigantes marcadas. A) Patrón general para las tres áreas de estudio, B) Bahía de Banderas, C) La Reina, D) Isla Socorro, E) Isla San Benedicto y F) Roca Partida.....	25
Figura 9. Cronología de registros de las 61 mantas gigantes detectadas en la red de receptores en el Pacífico mexicano. Cada punto representa detección y los colores refieren a los sitios: PNR, BB y La Reina.	26
Figura 10. Índice de residencia por manta en el OPM.....	27
Figura 11. Movimientos semanales de las mantas gigantes en PNR, BB y La Reina.	28
Figura 12. Análisis de redes de las mantas detectadas en el PNR. El tamaño de los círculos indica el grado. Las líneas negras hacen referencia a las conexiones entre los nodos; el grosor y el número son proporcionales a la frecuencia de los movimientos entre nodo.	29
Figura 13. Análisis de redes de las mantas detectadas en el PNR. El tamaño de los círculos indica el grado. Las líneas negras hacen referencia a las conexiones entre los nodos; el grosor y el número son proporcionales a la frecuencia de los movimientos entre nodo.	30
Figura 14. Análisis de redes de la manta #30 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, numero de enlaces para cada receptor.....	31

Figura 15. Análisis de redes de la manta #35 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor..... 32

Figura 16. Análisis de redes de la manta #40 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor..... 32

Figura 17. Análisis de redes de la manta #52 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor..... 33

Figura 18. Análisis de redes de la manta #57 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor..... 33

Figura 19. Valores de centralidad que muestra la importancia de los sitios en el PNR. 34

Figura 20. Valores de centralidad que muestra la importancia de los sitios en BB. . 34

Figura 21. Medidas calculadas del LD y AD para dos mantas identificadas en 2020. A) Un macho “Armando”; B) Una hembra “Norma”..... 36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información de marcaje, registro y movimientos de las mantas gigantes marcadas de enero 2012 a julio 2018. *Nota:* H: hembra, M: macho, ND: no determinado. EB: El Boiler, EC: El Cañón, NS: Norte de Isla Socorro, BB: Bahía de Banderas, LR: La Reina. 21

Tabla 2. Registros obtenidos de los receptores colocados en el área de estudio..... 23

GLOSARIO

Área marina protegida: área del mar u océano designada por leyes, para proteger y mantener la biodiversidad y los recursos sociales, económicos y culturales del área (Kirk, 2019).

Áreas de crianza: “zonas geográficas dentro del rango de distribución espacial de una especie donde las hembras grávidas suelen tener a sus crías o depositar sus huevos y donde los organismos jóvenes pasan sus primeras etapas de vida” (Castro, 1993).

Fidelidad al sitio: tendencia a regresar a una localidad previamente ocupada después de un periodo largo de ausencia (Switzer, 1993).

Foto identificación: técnica fotográfica utilizada para capturar las marcas únicas de los organismos (patrones de pigmentación, laceraciones, etc.), las cuales permanecen durante toda su vida y pueden ser utilizadas para identificar a individuos de algunas especies (Brooks *et al.*, 2010).

Hábitat crítico: zona geográfica indispensable para que una especie amenazada o en peligro de extinción sobreviva y se conserve, con ayuda de manejo y protección especial (Camaclang *et al.*, 2015).

Migración: movimiento activo que realiza un animal a un hábitat diferente, no necesariamente de ida y vuelta (Griffin, 1982).

Movimiento: cambio en la ubicación espacial de un individuo debido a la interacción con factores externos y su capacidad motora (Nathan *et al.*, 2008).

Población: grupo de individuos de una misma especie que se reproducen entre sí y comparten un mismo hábitat o zona geográfica en un tiempo determinado (Curtis & Schnek, 2008).

RESUMEN

En el Océano Pacífico mexicano (OPM) existen tres zonas de agregación importantes para *Mobula birostris* consideradas como poblaciones separadas: el Parque Nacional Revillagigedo (PNR), Bahía de Banderas (BB) y La Reina, cercana a Isla Cerralvo, en el sur del Golfo de California. Este estudio describe los movimientos y residencia de *Mobula birostris* en el OPM. Se utilizó la telemetría acústica pasiva para monitorear a 61 individuos de 2012 a 2018 en las tres regiones. En total se registraron 15,974 detecciones en el PNR, 1,203 en BB y 3,589 en La Reina. Las mantas realizaron 361 movimientos intrainsulares e interinsulares en el PNR y en BB, así como migraciones de conexión entre estas dos regiones. No se encontró conectividad de La Reina con las otras dos regiones. Se registró una migración de 698.5 km desde Canilla en BB hacia Roca Partida en el PNR, siendo la más larga registrada por primera vez en el OPM. La residencia de las mantas presentó variaciones mensuales para cada región, pero las detecciones mostraron la presencia de algunos individuos por más de 18 meses. Los movimientos en periodos de 24 horas demostraron que las mantas suelen estar cerca de los receptores durante las horas con luz (6:00 a 17:00 h.), alejándose en la noche. Los sitios: El Boiler, Punta Tosca y Los Arcos fueron los más importantes para la residencia. Estos sitios podrían estar siendo utilizados como zonas de alimentación y estaciones de limpieza, así como puntos de conexión. Se identificaron 25 individuos juveniles nuevos de mantas gigantes en La Reina a partir de registros fotográficos. Este estudio demuestra la conectividad entre dos poblaciones de mantas gigantes, las rutas utilizadas y los primeros registros de migraciones superiores a 600 km para *M. birostris* en el OPM.

ABSTRACT

In the Mexican Pacific Ocean (MPO) exist three important aggregation areas for *Mobula birostris* considered as separated populations: The Revillagigedo National Park (PNR), Banderas Bay (BB) and La Reina, in the southern Gulf of California. This study describes the movements and residence of *M. birostris* in the MPO. Passive acoustic telemetry was used to monitoring 61 individuals, from 2012 to 2018, in the three regions. In total 15,974 detections were registered in the RNP, 1,203 in BB, and 3,589 in La Reina. Mantas made 361 intra and inter-island movements in the PNR, within BB and migrations between these two regions. No connectivity was found from La Reina with the other two regions. For the first time, the longest migration of 698.5 km from Canilla (BB) to Roca Partida (PNR) carried out by a giant manta was recorded at the MPO. The residence of the mantas presented monthly variation for each region, but the detections showed the presence of individuals for more than 18 months, in some cases. The dial pattern showed that the mantas are usually close to the receivers during the daylight (6:00 a.m. to 5:00 p.m.), while they move away at night. El Boiler, Punta Tosca, and Los Arcos were the most important sites for residence and as key connection point in the movements of the mantas to other sites, used as feeding areas and cleaning stations. Twenty-five juvenile manta rays were identified at La Reina with photo identification. This study demonstrates the connectivity between two populations of giant mantas, the routes used and the first records of large migrations for *M. birostris* in the MPO.

I. INTRODUCCIÓN

La manta gigante *Mobula birostris* es la raya más grande conocida y uno de los peces vivientes más grandes, con un ancho de disco cercano a los siete metros y más de una tonelada de peso (Marshall *et al.*, 2018). Esta especie cuenta con dos variaciones de coloración denominados mortofipos: chevron y negro (Marshall *et al.*, 2009), aunque se han registrado algunas variantes para ambos casos (Marshall, 2008; Venables *et al.*, 2019). Además, cada individuo se caracteriza por presentar un patrón de pigmentación singular en la zona ventral de su cuerpo, usado comúnmente para identificarlo (Marshall, 2008).

Los hábitos alimenticios de la manta gigante están asociados a las horas del día con luz, en donde pueden alimentarse tanto en superficie como en profundidades de hasta 150 m en los sitios de agregación (Stewart *et al.*, 2016). Su alimento principal es el zooplancton, compuesto primordialmente por eufáusidos y copépodos (Rohner *et al.*, 2017; Stewart *et al.*, 2016; Burgess *et al.*, 2018).

La manta gigante es considerada una especie solitaria con hábitos pelágicos conocida por realizar grandes migraciones y tener cierta fidelidad al sitio (Kashiwagi *et al.*, 2011; Marshall *et al.*, 2011; Couturier *et al.*, 2012; Graham *et al.*, 2012; Mundy-Taylor & Crook, 2013). Esta especie se distribuye globalmente en aguas tropicales, subtropicales y templadas. Es común observarla en zonas alejadas de la costa, con alta productividad primaria, montañas submarinas y alrededor de islas oceánicas (Rubin, 2002; Dewar *et al.*, 2008; Marshall *et al.*, 2009; Kashiwagi *et al.*, 2011; Marshall *et al.*, 2018). Diversos sitios de agregación han sido identificados a nivel mundial, reconocidos por ser utilizados de manera estacional o de manera continua como áreas de alimentación por la disponibilidad de recursos o estaciones de limpieza, sitios arrecifales donde los peces remueven parásitos de su piel (Yano *et al.*, 1999; Duffy & Abbott, 2003; Luiz *et al.*, 2009; Kashiwagi *et al.*, 2011; Stewart *et al.*, 2016; Preciado-González, 2018).

Las mantas son consideradas hoy en día de gran importancia para la industria del buceo recreativo, actividad que genera una gran derrama económica a nivel

mundial en diversos sitios de agregación de la especie (Anderson *et al.*, 2011; Lynam, 2012; O'Malley *et al.*, 2013; Ruiz-Sakamoto, 2015; Needham *et al.*, 2017). Sin embargo, esta especie también es objeto de la pesca dirigida con fines alimenticios o para la medicina tradicional china y comúnmente es capturada de manera incidental en pesquerías de gran escala (Anderson & Waheed, 2001; White *et al.*, 2006; Anderson *et al.*, 2011; Fernando & Stevens, 2011; Mundy-Taylor & Crook, 2013; Dulvy *et al.*, 2014; Marshall *et al.*, 2018). Esta situación ha provocado un declive en las poblaciones debido a que las mantas gigantes, al igual que otros mobúlidos presentan características de historia de vida que las hace vulnerables frente a la sobreexplotación, tales como baja fecundidad, una cría cada dos a tres años, una tasa de crecimiento lento, longevidad alta y madurez tardía (Homma *et al.*, 1997; Rubin, 2002; Marshall, 2008; Marshall & Bennett, 2010; Dulvy *et al.*, 2014; Marshall *et al.*, 2018).

A nivel internacional esta especie se encuentra catalogada como Vulnerable dentro de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) (Marshall *et al.*, 2018), dentro del Apéndice II en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES; Medeiros *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2014) e incluida en el Apéndice I y II de la Convención de Especies Migratorias (CMS, por su siglas en inglés). En México, las mantas gigantes están catalogadas como especie en situación de riesgo o amenazada dentro del Plan De Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas, Quimeras y Especies Afines (CONAPESCA-INAPESCA, 2004). Sin embargo, están protegida por leyes mexicanas al estar incluida en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-029-PESC-2006, en la cual se prohíbe la captura y retención de ejemplares vivos o muertos, enteros o en partes, así como el consumo humano y comercialización de *M. birostris* (DOF, 2006). Adicionalmente, la manta está protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de *sujeta a protección especial* debido a que es una especie que podría verse amenazada por factores que afectan negativamente su supervivencia, por lo que se requiere de acciones que promuevan su recuperación y conservación (DOF, 2010; 2019).

A pesar de la importancia económica de *M. birostris*, aún existe poca información relacionada a los aspectos poblacionales, de movimientos y residencia. El uso de técnicas como la foto identificación y la telemetría han sido implementadas por diversos grupos de investigación para estudiar las poblaciones de mantas gigantes a nivel mundial. Los estudios de esta índole permiten determinar los movimientos y presencia de animales en escalas espacio temporales diferentes (Braun *et al.*, 2015; McCauley *et al.*, 2014). Por tal motivo, este trabajo pretende implementar esta línea de investigación en tres sitios de agregación de las mantas gigantes en el Pacífico mexicano, mediante el estudio de los patrones de movimiento y residencia de *M. birostris* utilizando la telemetría acústica pasiva y foto-identificación.

II. ANTECEDENTES

2.1 Telemetría acústica

La telemetría es una técnica que ha sido utilizada por diversos grupos de investigación para estudiar las poblaciones de mantas gigantes en el mundo. Este método requiere del uso de receptores acústicos o hidrófonos para registrar las señales emitidas por un transmisor acústico colocado en un animal marino (Dewar *et al.*, 2008; Couturier *et al.*, 2012; Setyawan *et al.*, 2018). Esto se puede llevar a cabo de dos formas: 1) el seguimiento activo o manual de los movimientos de un animal marcado, el cual usa un hidrófono direccional colocado en una embarcación y un receptor acústico portátil que registra las pulsaciones de un transmisor acústico continuo (Klimley, 1993; Heupel & Hueter, 2001; Cartamil *et al.*, 2003), y 2) la telemetría acústica pasiva, el cual utiliza receptores acústicos fijos colocados en un área específica (Heupel *et al.*, 2006; Cagua *et al.*, 2015).

La telemetría acústica pasiva tiene la ventaja de poder utilizarse de manera simultánea con diversos organismos de la misma especie o diferente especie y en diferentes hábitats gracias a la codificación única de cada transmisor (Kimley y Nelson, 1981; 1984; Klimley *et al.*, 1988; Heupel & Hueter, 2001; Clements *et al.*, 2005; Jacoby *et al.*, 2012; Ketchum *et al.*, 2014; Lara-Lizardi, 2018). Además, el esfuerzo de trabajo se reduce una vez que el animal ha sido marcado, el disturbio al animal y hábitat es limitado y provee información de manera continua por largos periodos (Kessel *et al.*, 2014; Andrzejaczek *et al.*, 2020). Sin embargo, es necesario tener receptores en el agua, los cuales no registran información fuera de su rango de detección (Voegeli *et al.*, 2001; Clements *et al.*, 2005; Andrzejaczek *et al.*, 2020).

La mayoría de los trabajos de investigación donde utilizan la telemetría acústica pasiva están enfocados en la manta arrecifal *M. alfredi* debido a la facilidad de encuentro por su distribución cercana a la costa (Kashiwagi *et al.*, 2011). Estos se han centrado en identificar los movimientos espacio-temporales, las distancias recorridas, en cuantificar la fidelidad al sitio y estacionalidad de las mantas (Clark, 2010; van Duinkerken, 2010; Deakos *et al.*, 2011; Braun *et al.*, 2015; Setyawan *et al.*, 2018; Andrzejaczek *et al.*, 2020). Para *M. birostris* el único trabajo realizado fuera de las

aguas mexicanas es el realizado por Dewar *et al.*, (2008), quienes estudiaron los movimientos y preferencia al sitio de la manta gigante en Komodo, Indonesia y demostraron que las mantas gigantes pasan un 90% de su tiempo en el sitio donde son marcadas, ya que lo utilizan como estaciones de limpieza y zonas de alimentación. Además, la mayoría de las detecciones fueron registradas en horas con luz en todos los sitios y estos patrones se ven influenciados por el relieve batimétrico y por el alimento disponible en la zona.

En México, en el Archipiélago de Revillagigedo, (Rubin *et al.*, 2010) reportan para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) los patrones de movimiento de 19 mantas gigantes marcadas con transmisores acústicos, encontrando que los individuos se movieron entre las islas y el 80% de sus detecciones ocurrieron entre las 6 am y 6 pm. El estudio más reciente fue realizado en Bahía de Banderas por Ruiz-Sakamoto (2018), quien reportó la presencia de mantas gigantes durante todo el año en la región, pero como un nivel de residencia bajo, relacionado con los cambios de temperatura del agua.

2.3 Foto identificación

Desde 1980, la creación de catálogos fotográficos de *M. birostris* se ha llevado a cabo por diversos grupos de investigación, pero es escasa la información publicada (Homma *et al.*, 1997; Couturier *et al.*, 2012; Domínguez-Sánchez, 2017). La foto identificación se ha convertido en una herramienta utilizada para generar información sobre aspectos ecológicos, estructura poblacional y sitios de ocurrencia de las mantas gigantes a nivel mundial (Marshall, 2008; Luiz *et al.*, 2009; Kashiwagi *et al.*, 2011; Graham *et al.*, 2012; De Boer *et al.*, 2015; Couturier *et al.*, 2015; Medeiros *et al.*, 2015; Carpentier *et al.*, 2019), debido a que no es una actividad intrusiva y sus costos de operación son bajos (Bansemer & Bennett, 2008; Marshall & Pierce, 2012).

En el Caribe mexicano se estimó la abundancia de mantas gigantes en el Área de Protección de Flora y Fauna de Yum Balam. Se registraron 85 individuos diferentes en 2010, con una proporción de 7H:1M y la mayor abundancia durante los meses de verano (Martínez-Urrea, 2015). En el Parque Nacional Revillagigedo (PNR) y en Bahía de Banderas (BB) se realizó un estudio para describir la estructura poblacional de *M.*

birostris con información obtenida por fotografías y medición laser. En total se identificaron 140 individuos diferentes de mantas gigantes entre 2014 y 2016 y se creó la línea base para Bahía de Banderas. La talla promedio del ancho de disco (AD) de las mantas en ambas regiones indicaron que en estas poblaciones se encuentran solo organismos maduros (Dominguez-Sánchez, 2017).

En el Archipiélago de Revillagigedo desde 1988, el Grupo de Investigación de Mantas del Pacífico (PMRG, por sus siglas en inglés) de Santa Rosa College cuenta con un catálogo fotográfico con más de dos mil fotografías y han identificado más de 490 individuos diferentes (K. Kumli *com. pers.* 2017). Una valoración económica cercana a los 14 millones de dólares generada por el avistamiento de las mantas gigantes fue realizada por Ruíz-Sakamoto (2015) y creó un catálogo con 17 individuos diferentes, encontrando una recaptura. A partir de 2015 se dio un seguimiento fotográfico por Preciado-González (2018), quien analizó la distribución y abundancia de mantas gigantes en el PNR durante la temporada 2015-2016 e identificó 169 mantas distintas y registró la mayor abundancia de individuos en El Boiler, en Isla San Benedicto. Además, encontró preferencias de las mantas por una misma isla, movimientos entre islas y un periodo de residencia de hasta 19 semanas. Por su parte, Gutiérrez-Ortiz (2019), utilizó las fotografías obtenidas de las temporadas 2015-2016 (Preciado-González, 2018) y 2016-2017 para analizar los movimientos y fidelidad de las mantas. El autor identificó 333 individuos en las dos temporadas 2015-2017 y reafirmó que San Benedicto presenta la mayor abundancia y la existencia de conectividad entre las islas. Además, estimó una población de 696 individuos para la zona.

El conocimiento que se tiene en relación con la identificación de organismos jóvenes de *M. birostris* aún es escaso (Stewart *et al.*, 2018). En Mozambique, se registraron organismos menores a un año de edad con un ancho de disco menor a 2 m (Marshall, 2008). Sin embargo, el único sitio conocido como área de crianza para la especie está ubicado en el norte del Golfo de México en el Santuario Marino Nacional *Flower Garden Banks*. En este sitio se cuenta con registros (observaciones y fotografías) de individuos pequeños menores a 3 m de ancho de disco, los cuales

presentan patrones temporales de uso y permanencia en dicha región, sugiriendo una posible área de crianza para la especie (Stewart *et al.*, 2018).

En el Golfo de California a principios de los años 2000, una población de mantas gigantes fue identificada alrededor de Isla Cerralvo y La Reina en BCS. En total se registraron 52 individuos diferentes, todos ellos juveniles (Saad *et al.*, 2020). Dos de los individuos registrados en Isla Cerralvo en 2001 fueron registradas en Revillagigedo, uno en 2004 y otro en 2007, lo que supone una conectividad entre estas regiones (Kumli & Rubin, 2011).

III. JUSTIFICACIÓN

La manta gigante es considerada una especie pelágica con sitios de agregación predecibles, que utiliza de manera repetitiva a través de los años. Esta especie es aprovechada por la industria turística a nivel mundial, actividad que genera una derrama económica importante de manera directa e indirecta. Dentro del PNR el ecoturismo con mantas gigantes se realiza desde hace más de 20 años y se estima que produce ingresos superiores a los 14 millones de dólares anuales. En BB, las mantas gigantes todavía no han sido explotadas como recurso ecoturístico debido al desconocimiento de los patrones estacionales de las mantas en esta región. Por su parte, La Reina fue un sitio por excelencia para el avistamiento de mantas gigantes en la década de 1990 y principios de los años 2000. Sin embargo, a pesar de ser una especie ampliamente aprovechada, se conocen pocos aspectos sobre su ecología.

Los pocos estudios realizados para conocer los movimientos y estacionalidad de la manta gigante se han enfocado principalmente en el uso de la foto identificación y marcaje satelital, pero pocos se han enfocado en utilizar la telemetría acústica pasiva para conocer la distribución espacial, determinar migraciones y residencia. Además, este estudio es pionero en el análisis de información con ambas técnicas para la etapa juvenil de *M. birostris*. Por lo que este trabajo pretende generar información para determinar si las mantas gigantes del OPM presentan migraciones continuas con movimientos regulares entre regiones o sitios, si tienen una distribución limitada o conocer si las mantas son transitorias, con el fin de aportar argumentos para la implementación de estrategias de manejo y medidas regulatorias para que la especie sea aprovechada de manera responsable por la industria turística dentro y fuera de las áreas naturales protegidas donde la especie se distribuye.

IV. HIPÓTESIS

Existe una variación en los movimientos y residencia de *Mobula birostris* en los sitios de agregación en el Océano Pacífico mexicano, debido a su capacidad de desplazarse grandes distancias.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar los movimientos y la residencia de las mantas gigantes en tres regiones del Océano Pacífico mexicano: Parque Nacional Revillagigedo, Bahía de Banderas y La Reina.

5.2 Objetivos específicos

- Determinar los movimientos diarios de las mantas gigantes en las tres regiones.
- Estimar la residencia y estacionalidad de las mantas gigantes en las tres zonas.
- Determinar migraciones locales y regionales de las mantas gigantes en las tres áreas de estudio.
- Crear un catálogo fotográfico y caracterizar la agregación identificada de mantas gigantes en el sur del Golfo de California.

VI. MATERIALES Y MÉTODO

6.1 Área de estudio

6.1.1 Parque Nacional Revillagigedo.

El PNR está conformado por cuatro islas oceánicas emergidas independientemente del suelo marino, ubicado a 400 km de Cabo San Lucas, al suroeste de la península de Baja California, México (Figs. 1 y 2). Este se encuentra ubicado entre los 18° 20' y 19°20' N y los 110°46' y 114°50' O, en el Océano Pacífico mexicano. El clima de la zona es árido con frecuentes lluvias, con una precipitación anual promedio de 404.7 mm, cuyo valor incrementa en temporada de huracanes (Coria-Benet, 1995; CONANP, 2004). En el año 2016 el área natural protegida fue decretada como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO y el 27 de noviembre 2017 fue decretada como Parque Nacional (DOF, 2017).

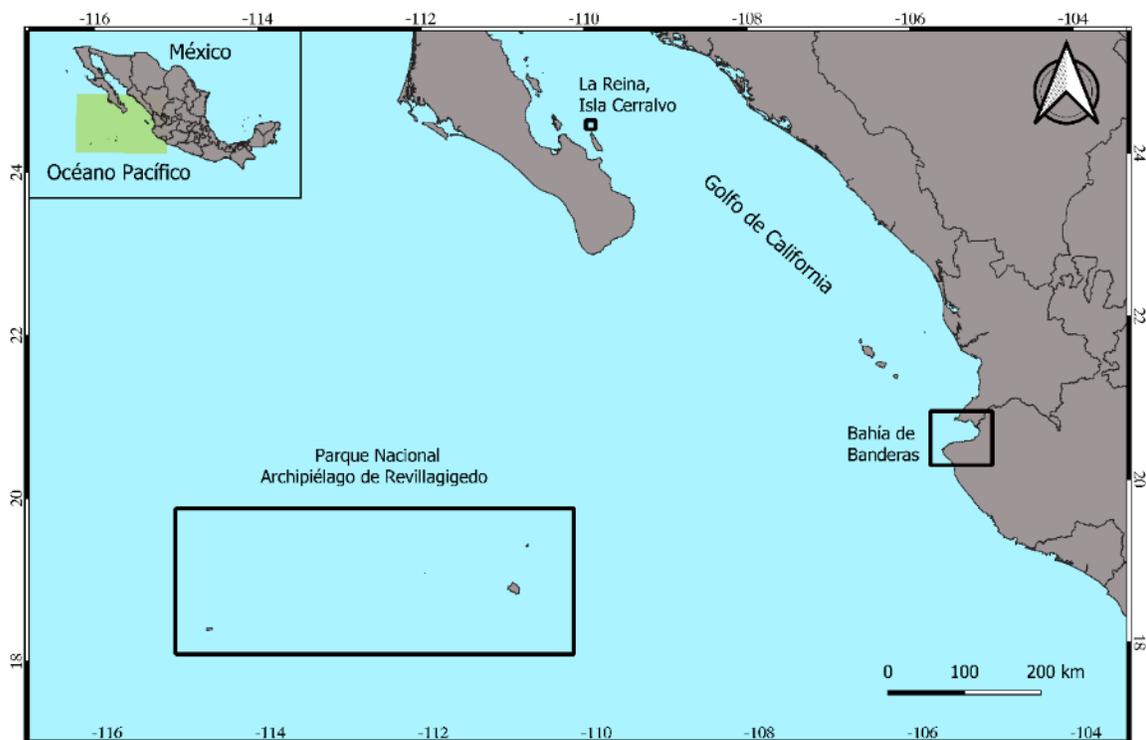


Figura 1. Áreas de estudio: Parque Nacional Revillagigedo, Bahía de Banderas y La Reina.

El PNR está ubicado en una zona de transicional, entre el Giro del Pacífico nororiental y Pacífico oriental, donde la mezcla de las aguas de la Corriente de California y la Corriente Ecuatorial generan una zona rica en nutrientes que propicia la

convergencia de especies (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2015). La circulación superficial del mar presenta dos tipos: las corrientes estables y variables. En verano, las corrientes estables ocurren al sureste y oeste de Isla Socorro, mientras que las corrientes tipo variables ocurren al sur y norte. En invierno la dirección de las corrientes es de norte a sur (CONANP, 2017).

Las mareas son semidiurnas durante todo el año, con oleaje alto (CONANP, 2017). Los valores de salinidad presentan una media de 34 UPS, provocados por los giros subtropicales del Océano Pacífico (Fiedler & Talley, 2006; CONANP, 2017).

Las cuatro islas que componen al archipiélago son: Roca Partida, San Benedicto, Socorro y Clarión (Fig. 2). Roca Partida es un pequeño islote, restos de la cresta de un cuello de volcán, con lados empinado, con una superficie aproximada de 400 m² y una altura superior a los 30 metros (Richards & Brattstrom, 1959; Brattstrom, 1990). Isla San Benedicto tiene una longitud de 6.4 km y 3.2 km de ancho. La isla presenta un conjunto de conos volcánicos coalescentes y parcialmente erosionados.

En 1952, se formó el volcán Bárcena. El cono de este volcán tiene 335 m de altura y en su parte inferior surge un delta de lava con una longitud de casi 800 metros de largo en dirección al mar (Brattstrom, 1990). Isla Clarión, con una longitud de 9.7 km, 6.4 km de ancho y una altura de 305 m, es la isla más alejada al continente (CONANP, 2017). Isla Socorro es la más grande con una superficie cercana a los 130 km². La isla consta de un pico volcánico central, el Monte Evermann, con una altura de 1,050 m y numerosos flujos basálticos que descienden al mar (Brattstrom, 1990; CONANP, 2017). Isla Socorro cuenta con una base militar permanente a cargo de la Secretaría de Marina (SEMAR) desde el año 1957.

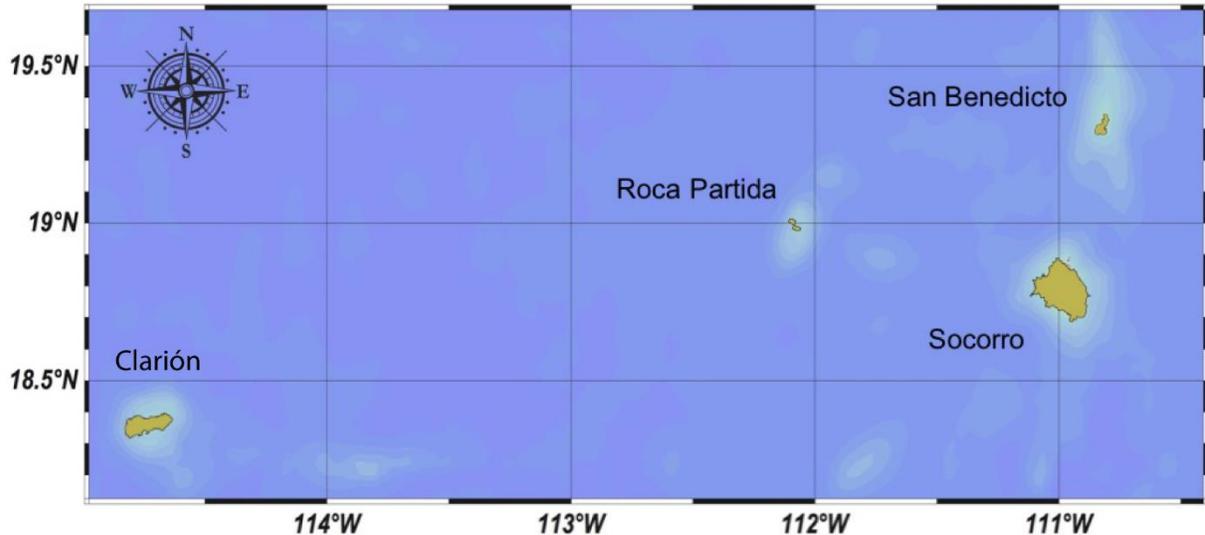


Figura 2. Parque Nacional Revillagigedo.

6.1.3 Bahía de Banderas

Bahía de Banderas (BB) está ubicada en el Pacífico central mexicano ($20^{\circ}07'$ y $21^{\circ}08'$ N y los $105^{\circ}10'$ y $105^{\circ}45'$ O), en la boca del Golfo de California, delimitada por los estados de Nayarit y Jalisco, México (Fig. 1), con un área aproximada de $1,300 \text{ km}^2$ (Moncayo-Estrada *et al.*, 2006; Plata & Filonov, 2007; Jiménez-Pérez *et al.*, 2013; Domínguez-Sánchez, 2017; Pelamatti, 2019). De acuerdo con la batimetría de la bahía, la profundidad supera los mil metros y en promedio tiene 300 metros de profundidad (Moncayo-Estrada *et al.*, 2006; Plata & Filonov, 2007; Pelamatti, 2019). La zona sur de la bahía tiene una profundidad de 1,504 m del lado oeste, mientras que la parte sureste tiene profundidades entre 20 y 535 m cercanos a la costa. La parte norte de la bahía es la zona más somera con 67 m de profundidad máxima (Moncayo-Estrada *et al.*, 2006; Plata & Filonov, 2007).

La bahía está influenciada por las Corrientes de California, la Corriente Costera de Costa Rica, por la Contracorriente Ecuatorial y por las masas de aguas cálidas del Golfo de California (Carrquiry & Reyes-Bonilla, 1997; Cortés-Lara *et al.*, 2004). Sin embargo, también recibe aportes de agua dulce, principalmente por el Río Ameca (Curry *et al.*, 1969). En BB las mareas son de tipo mixto semidiurnas y la circulación predominante es en dirección noreste (Curry *et al.*, 1969; Moncayo-Estrada *et al.*, 2006). La temperatura del mar de la bahía oscila entre los 18 y $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a lo largo del año

y los valores de salinidad entre los 32.7 y 37.1 UPS, provocados por surgencias y los vientos en la zona (Cortés-Lara *et al.*, 2004).

6.1.3 La Reina, B.C.S.

La Reina es un pequeño islote ubicado al norte de Isla Cerralvo entre los 24°62'076 N y los 109°57'999 O, a 74 km de La Paz, B.C.S. (Figs. 1 y 3). Este sitio está compuesto principalmente por formaciones rocosas con profundidades máximas de hasta 30 metros. Existe poca información en relación al sitio pero se conoce que en las aguas aledañas al islote es común apreciar especies pelágicas migratorias y arrecifales, lo que promueve la realización de actividades de pesca o recreativas en la zona (Hernández-Ramírez, 2004; Gallegos-Guadarrama, 2012). El islote La Reina se encuentra ubicado en la parte sur del Golfo de California, la cual está comunicada con el Océano Pacífico Tropical a través de la boca del golfo, donde ocurre una mezcla de las masas de aguas superficiales de la Corriente de California y aguas tropicales del Golfo de California (Roden, 1958; Altabet *et al.*, 1999) que podrían influir sobre esta área. Además, La Reina se encuentra en una zona expuesta, por lo que se ve afectado por los vientos estacionales fuertes durante el invierno (Trasviña-Castro *et al.*, 2003). La temperatura superficial del mar fluctúa entre los 18-32° C (Soto-Mardones *et al.*, 1999) y pueden alcanzarse salinidades superiores a las 35 UPS (Roden, 1972).



Figura 3. Islote La Reina. Fotografía aérea: Erick Higuera.

6.2 Marcaje

Los individuos de *M. birostris* se marcaron con transmisores acústicos V16 con una frecuencia de 69 kHz (Vemco Inc., Nova Scotia, Canadá). El periodo de marcaje fue en diferentes meses entre 2012 y 2018. Cada transmisor emite una señal acústica codificada única en intervalos de tiempo diferentes para evitar la colisión de las pulsaciones de cada transmisor colocado en las mantas. Los transmisores se colocaron de manera externa mediante buceo scuba usando una lanza tipo hawaiana para insertar un dardo de acero inoxidable cerca de la aleta dorsal de la manta (Kimley y Nelson, 1981; Dewar *et al.*, 2008; Setyawan *et al.*, 2018; Andrzejaczek *et al.*, 2020). Esta técnica está avalada por el protocolo de marcaje #16022 del Comité de Uso y Cuidado Animal de la Universidad de California, Davis. Durante el marcaje se registró la siguiente información en una bitácora: fecha, hora, ancho de disco, sexo, cicatrices, número de foto-identificación y posición geográfica.

6.3 Red de receptores acústicos

La red acústica consiste en una serie de más de 60 de estaciones acústicas colocadas en el Océano Pacífico mexicano desde Isla Guadalupe hasta el Atolón de Clipperton y en la península de Baja California Sur, dentro del Golfo de California (Anexo 1). Se utilizaron receptores acústicos VR2W (Vemco Inc., Nova Scotia, Canadá) en cada estación, los cuales registran la fecha, hora y código de los transmisores.

Estos receptores colocados en once sitios pertenecientes a tres islas del Archipiélago de Revillagigedo y uno en el sur del Golfo de California (La Reina) y cuatro en Bahía de Banderas en sitios conocidos por tener la presencia frecuente de mantas gigantes. Los sitios de instalación de receptores del Parque Nacional Revillagigedo fueron El Boiler, El Cañón y Cuevitas en Isla San Benedicto; en Punta Tosca y Cabo Pearce en Isla Socorro; en Roca Partida Este; y dos más en Isla Clarión. En Bahía de Banderas los receptores se colocaron en Yelapa, Los Arcos, Chimo y Canilla; En La Reina se colocó un receptor.

Los receptores fueron colocados a profundidades entre los 17-35 metros y fueron asegurados al fondo con una cadena de acero inoxidable unida a una cabo con un flotador para mantener el receptor de manera vertical en la columna de agua. Estos fueron utilizados para registrar las señales emitidas por los transmisores acústicos colocados a las mantas gigantes que estuvieron dentro del rango de detección de los receptores. Los datos obtenidos de los receptores contienen la fecha y hora de las detecciones y el código identificador del transmisor acústico (Dewar *et al.*, 2008; Setyawan *et al.*, 2018). La prueba de rango de detección de los receptores de una de las áreas de estudio (PNR) presentó variaciones entre 200 y 300 m (Lara-Lizardi *et al.*, 2020).

6.4 Filtrado de datos

Se realizó un filtrado inicial a los datos obtenidos para eliminar las detecciones que se registraron antes de que los transmisores fueran colocados en los organismos y también se realizó un ajuste de horario a los datos descargados para trabajar con la zona horario del área de estudio (Setyawan *et al.*, 2018; Andrzejaczek *et al.*, 2020).

6.5 Movimientos diarios

Para determinar el tiempo de permanencia de las mantas en cada sitio de interés, las detecciones se agruparon por hora en un periodo de 24 horas (detecciones diarias). El día fue dividido en horas con luz (06:00-18:00 horas) y la noche (18:00-06:00 horas). Se crearon gráficos circulares de manera general y por islas, implementando el paquete circular en el lenguaje de programación R 3.6.2 (Lund *et al.*, 2017). Posteriormente, se realizó una prueba de espaciado de Rao con la paquetería circular

en R 3.6.2 (Lund *et al.*, 2017) para determinar si la presencia temporal de las mantas tuvo una distribución respecto a las horas del día.

6.6 Residencia y estacionalidad

La residencia de las mantas marcadas se estimó a partir de la presencia diaria y la ausencia de los individuos detectados en cada región durante el periodo de monitoreo. Una manta se consideró presente en algún sitio si registró dos o más detecciones en el mismo día en cualquier receptor (Espinoza *et al.*, 2014). El índice de residencia (IR) se calculó como un estimador de la presencia de cada individuo (Espinoza *et al.*, 2015; Andrzejaczek *et al.*, 2020) a partir del número de días de detección de un individuo entre el número total de días de monitoreo a un año, desde la fecha de marcaje. El IR otorga valores entre cero y uno, donde valores cercanos a 1 refleja que el organismo fue detectado todos los días desde su marcaje, mientras que valores cercanos a 0 reflejan pocos días detectados en relación con los días de monitoreo (Espinoza *et al.*, 2014, 2015; Cagua *et al.*, 2015).

Para determinar el tiempo de permanencia de las mantas en los sitios de estudio, las detecciones se agruparon por 52 semanas (un año). Se crearon gráficos circulares de manera general y por regiones, implementando la paquetería “circular” en R 3.6.2 (Lund *et al.*, 2017).

6.7 Movimientos locales y migraciones regionales

Los movimientos se identificaron a partir de los registros de cada individuo en los diferentes receptores colocados. Se realizó una cuantificación de los desplazamientos registrados en los receptores colocados en los sitios de muestreo perteneciente a las diferentes regiones de estudio. Para evaluar el rango de dispersión de las mantas gigantes se estimó la distancia lineal en kilómetros entre los receptores acústicos con la paquetería *geosphere* del programa de computadora R 3.6.2 (Hijmans *et al.*, 2016).

Para describir los movimientos de las mantas en las tres regiones, se implementó un análisis de redes (AR) con base en la teoría de grafos. Un grafo está compuesto por aristas y vértices (o nodos). Para esto se utilizó la paquetería *igraph* del programa de computadora R 3.6.2 (Csardi G. & T. Nepusz. 2006).

Los AR describen las interacciones por elementos conectados entre sí (Jacoby *et al.*, 2012). Cada receptor fue considerado como un nodo dentro de la red y las detecciones de una manta entre los receptores como aristas (o conexiones). Además, se utilizaron métricas cuantitativas para describir la estructura de cada red. El índice de grado, definido como el número de vecinos que tiene un nodo. La centralidad, considerada como la posición relevante del nodo respecto a su posición en la red, para indicar la importancia del nodo de acuerdo con su conectividad. La densidad, considerada como la proporción de las conexiones reales de la red pertenecientes al número total de conexiones posibles (Jacoby *et al.*, 2012; Lea *et al.*, 2016). Finalmente, se realizaron grafos para visualizar los movimientos y presencia de las mantas en la red.

6.8 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina

Se realizaron visitas a La Reina en diferentes periodos entre julio y diciembre de los años 2018, 2019 y 2020. Durante cada encuentro con la especie, se tomó una fotografía de la parte ventral de la manta gigante (Fig. 4). Se utilizaron los puntos distintivos, cicatrices o parches pigmentados para identificar y diferenciar entre individuos (Rubin *et al.*, 2010; Marshall *et al.*, 2011; Preciado-González, 2018). Solo se utilizaron fotografías de buena calidad del área de las branquias, hocico y área abdominal para la identificación (Couturier *et al.*, 2011; Preciado-González, 2018). Algunas fotografías se obtuvieron de buzos locales, turistas e investigadores de La Paz, La Ventana y Los Cabos, B.C.S. Para obtener las fotografías se utilizaron cámaras digitales submarinas de fotografía y video mientras se realizaron las actividades de snorkel o buceo SCUBA (Couturier *et al.*, 2014).



Figura 4. Ejemplo de fotografía utilizada para identificar a las mantas gigantes. Autor: Paola Ruffo.

Cada fotografía cuenta con un código de registro compuesto por el número de la manta gigante identificada, el nombre de la manta gigante, el morfotipo, el sexo, sitio y fecha de captura, nombre del fotógrafo y nombre original de la foto (si es posible). Por ejemplo: “1_Mau_Negra_M_LR_200818_Erick Higuera_GP3215”.

A pesar de que las mantas gigantes fueron captadas en más de una fotografía el día del avistamiento, solo una fotografía por día por individuo fue utilizada para la identificación (Couturier *et al.*, 2011). La comparación de las fotografías se realizó visualmente por el autor, pero dos observadores independientes corroboraron la identificación de las mantas (Marshall *et al.*, 2011; Preciado-González, 2018). Se consideró como recaptura la observación de una manta gigante registrada después de su primer avistamiento. Esto fue usado para monitorear la frecuencia en la cual las mantas se mueven o permanecen en los sitios de avistamiento (Peel *et al.*, 2020).

El sexo del animal se determinó por la presencia (machos) o ausencia (hembras) de los gonopterigios cuándo fue posible. Se calculó la proporción de sexos y se realizó la prueba X^2 . El estado de madurez tanto para machos como hembras se evaluó con base en Marshall (2008). Para los machos se consideró la longitud y apariencia calcificada de los gonopterigios y la presencia o ausencia de las glándulas seminales. Las hembras fueron evaluadas a partir de observaciones visuales de las

características morfométricas como la talla, cicatrices de copulación (mordidas en las puntas de las aletas pectorales) y embarazo.

Para las mantas gigantes vistas en 2020 se utilizó un medidor láser para hacer una estimación de la talla (Deakos, 2010; McCauley *et al.*, 2014). Las imágenes fueron tomadas durante los encuentros con las mantas usando una cámara de acción submarina montada en una base de acero inoxidable con dos láseres paralelos, calibrados y sumergibles, con una distancia de 20 cm entre ambos (Fig. 5).

La técnica consistió en colocarse debajo de la manta de manera perpendicular a esta para proyectar los láseres en la parte ventral de la manta mientras se graba con la cámara para obtener el ancho total del disco. La estimación de la talla se determinó usando imágenes en la cual la zona ventral de la manta gigante estuvo perpendicular a la proyección de los láseres y la cámara. La longitud y el ancho del disco (LD y AD, respectivamente) de las mantas se estimaron con el programa de computadora *ImageJ* 1.53a con base en el concepto establecido por Francis (2006). Se realizaron 20 medidas por computadora para estimar la medida promedio y se calculó la desviación estándar. Las tallas obtenidas fueron utilizadas para comparar con registros en otras áreas de estudio y determinar el estado de madurez de las mantas de La Reina.



Figura 5. Láseres colocados junto a una cámara de video submarina.

Esta información se utilizó para realizar una base de datos y un catálogo fotográfico de las mantas observadas en La Reina y zonas aleñadas como Bahía de La Paz y Cabo San Lucas, B.C.S. Sólo se realizó el catálogo fotográfico para la zona de La Reina debido a que, en el PNR y en BB, otros grupos de trabajo se encuentran realizando dicha labor. La mayoría de las mantas fueron nombradas para facilitar el trabajo.

VII. RESULTADOS

7.1 Marcaje y patrones de detección

Un total de 61 mantas gigantes fueron marcadas en diferentes periodos en las tres áreas de estudio (Fig. 6). Los años de marcaje en el PNR ($n=27$) fueron entre 2012 y 2015; en BB ($n=31$) entre 2014 y 2017; y para La Reina ($n=3$) en 2018. Las mantas del PNR fueron marcadas en El Boiler (18), El Cañón (6) y al norte de Isla Socorro (3); las de BB (31) cerca de la zona de Yelapa; y las mantas de La Reina (3) alrededor del mismo islote. Del total de mantas gigantes marcadas se encontraron 24 hembras, 16 machos y 21 a las que no se les pudo identificar el sexo.

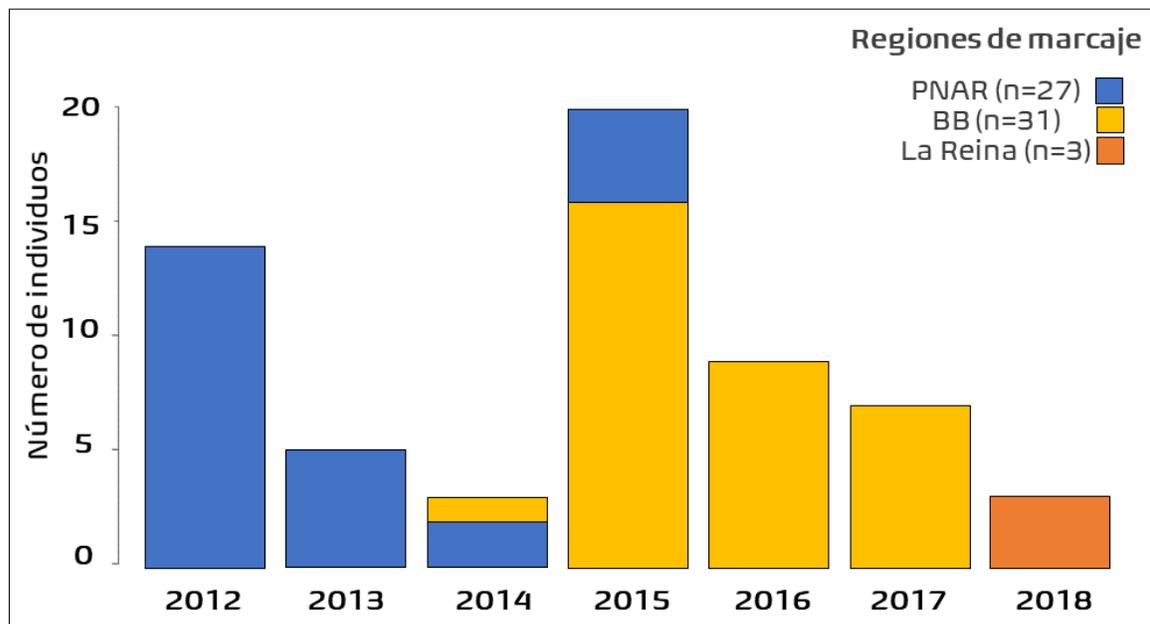


Figura 6. Número de mantas marcadas por año en cada área de estudio.

En total se registraron 20,768 detecciones para las 61 mantas gigantes marcadas. Las detecciones por individuo tuvieron un rango entre 1 y 2,836 (559 ± 767 , media \pm D.E.; Fig. 7). El número de días de detección por individuo estuvo entre 1 y 188 días (25.72 ± 42.18). No se encontraron diferencias significativas entre el número de días de detección entre machos y hembras ($F_{(1,38)} = 0.537$, $p = 0.468$). Los transmisores colocados en las mantas #6, 12, 15, 17, 20, 25, 31, 39, 46, 49, y 50 presentaron menos de diez días de detecciones en un periodo no mayor a un mes, desde la fecha de marcaje hasta la fecha de la última detección (Tabla 1). Sin embargo, todas las mantas fueron incluidas en los análisis realizados.

Tabla 1. Información de marcaje, registro y movimientos de las mantas gigantes marcadas de enero 2012 a julio 2018. *Nota:* H: hembra, M: macho, ND: no determinado. EB: El Boiler, EC: El Cañón, NS: Norte de Isla Socorro, BB: Bahía de Banderas, LR: La Reina.

Manta	Sexo	Sitio de marcaje	Fecha de marcaje	Fecha de primera detección	Fecha de última detección	Días de monitoreo	# días detección	# receptores visitados	# de movimientos
1	ND	EB	5/01/12	1/05/12	1/05/12	365	1	1	0
2	ND	EB	5/01/12	1/05/12	15/05/12	365	3	2	1
3	ND	EB	5/04/12	4/05/12	6/06/12	365	4	2	1
4	ND	EC	5/04/12	1/05/12	5/06/12	365	3	2	1
5	ND	EB	5/04/12	20/04/12	29/01/13	365	120	2	14
6	ND	EB	5/04/12	4/05/12	5/05/12	365	2	1	0
7	ND	EB	20/04/12	5/05/12	16/04/13	365	106	4	9
8	ND	EB	20/04/12	20/04/12	1/09/12	365	14	3	4
9	ND	EB	20/04/12	1/06/12	10/07/12	365	13	2	1
10	ND	EB	20/04/12	20/04/12	18/01/13	365	41	4	6
11	ND	EB	20/04/12	30/04/12	29/06/12	365	11	2	3
12	H	EC	27/04/12	8/05/12	18/05/12	365	4	1	0
13	ND	EC	5/05/12	5/05/12	4/07/12	365	6	3	2
14	ND	EC	28/04/12	26/06/12	17/12/12	365	60	2	1
15	H	EC	12/01/13	12/01/13	12/01/13	365	1	1	0
16	H	NS	26/11/13	26/11/13	24/02/14	365	41	3	28
17	H	EB	29/11/13	12/12/13	28/12/13	365	9	2	10
18	H	EB	29/11/13	29/11/13	23/10/15	700	178	4	30
19	H	EB	29/11/13	3/12/13	26/02/14	365	13	2	2
20	H	NS	24/05/14	24/05/14	10/06/14	365	8	1	0
21	H	EC	25/05/14	25/05/14	10/10/15	600	188	5	148
22	H	BB	24/11/14	19/12/14	18/04/15	365	7	2	1
23	H	BB	26/02/15	13/03/15	16/04/15	365	7	1	0
24	M	BB	27/02/15	14/03/15	18/04/15	365	11	2	2
25	H	BB	27/02/15	12/03/15	22/03/15	365	3	1	0
26	H	BB	28/02/15	18/03/15	15/04/15	365	4	1	0
27	H	BB	28/02/15	19/03/15	16/04/15	365	4	1	0
28	M	BB	28/02/15	18/03/15	16/04/15	365	5	1	0
29	H	BB	28/02/15	24/03/15	17/04/15	365	3	1	0
30	M	BB	1/03/15	14/03/15	2/01/17	700	95	8	12
31	ND	BB	1/03/15	3/03/15	3/03/15	365	1	1	0
32	H	BB	3/03/15	18/03/15	16/04/15	365	4	1	0
33	H	NS	24/05/14	24/05/14	16/03/16	365	136	4	25
34	H	BB	25/03/15	4/04/15	20/02/17	365	29	2	2
35	H	BB	25/03/15	7/05/15	2/12/15	365	12	2	1
36	ND	EB	28/04/15	28/04/15	11/03/16	365	9	2	1
37	ND	EB	28/04/15	28/04/15	17/12/15	365	18	3	2

Continúa Tabla 1.

Manta	Sexo	Sitio de marcaje	Fecha de marcaje	Fecha de primera detección	Fecha de última detección	Días de monitoreo	# días detección	# receptores visitados	# de movimientos
38	ND	EB	28/04/15	28/04/15	9/02/16	365	18	3	2
39	ND	EB	28/04/15	28/04/15	28/04/15	365	1	1	0
40	ND	EB	28/04/15	28/04/15	19/04/16	365	34	4	3
41	M	BB	9/08/15	2/09/15	10/06/17	700	26	2	5
42	M	BB	26/08/15	16/04/16	16/04/16	365	1	1	0
43	H	BB	21/02/16	20/04/16	26/06/16	365	4	2	2
44	H	BB	29/02/16	16/04/16	16/04/16	365	1	1	0
45	H	BB	6/03/16	5/04/16	19/04/16	365	4	2	1
46	H	BB	6/03/16	27/03/16	3/04/16	365	4	1	1
47	M	BB	22/05/16	11/09/16	16/10/17	600	15	3	2
48	M	BB	26/06/16	9/07/16	4/01/17	365	82	4	23
49	M	BB	9/07/16	13/07/16	13/07/16	365	1	1	0
50	M	BB	17/07/16	17/07/16	17/07/16	365	1	1	0
51	M	BB	24/07/16	4/08/16	6/01/17	365	8	2	4
52	M	BB	16/04/17	10/06/17	1/11/17	365	11	4	5
53	M	BB	16/04/17	2/05/17	11/06/17	365	4	1	0
54	ND	BB	16/04/17	2/05/17	9/07/17	365	8	1	0
55	M	BB	13/05/17	9/08/17	24/10/17	365	10	2	3
56	H	BB	13/05/17	8/06/17	13/09/17	365	3	2	1
57	M	BB	13/05/17	9/06/17	10/08/17	365	5	2	1
58	ND	BB	13/05/17	11/06/17	15/08/17	365	8	2	1
59	H	LR	30/07/18	30/07/18	4/09/18	365	34	1	0
60	M	LR	30/07/18	30/07/18	22/10/18	365	67	1	0
61	M	LR	30/07/18	30/07/18	11/10/18	365	63	1	0

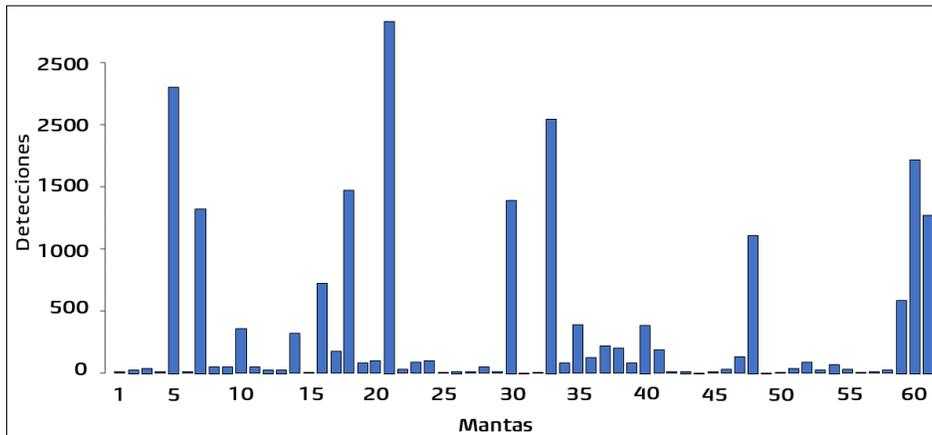


Figura 7. Detecciones registradas de las mantas marcadas en el periodo de estudio.

De la red de receptores instalada en el OPM, se encontraron registros en 11 estaciones. Sin embargo, los mayores registros se presentaron en solo cinco sitios (Punta Tosca, El Cañón, La Reina, El Boiler y Los Arcos Wall; Tabla 2). El número de detecciones no fue proporcional con el número de mantas registradas en cada receptor. Para el PNR, la estación de Punta Tosca registró la mayor cantidad de detecciones (24.41%) con 21 mantas diferentes, seguido de los receptores de El Cañón (21.77%) y El Boiler (14.55%) con 14 y 20 mantas diferentes detectadas, respectivamente. El receptor con mayor número de registros en BB fue la estación de Los Arcos (5.23%) con 27 mantas diferentes detectadas, mientras que la estación única instalada en La Reina obtuvo el 100% de los registros en 85 días de registros.

Tabla 2. Registros obtenidos de los receptores colocados en el área de estudio.

Sitios	Región	Mantas detectadas	# días de detección	# detecciones
El Boiler	PNR	20	194	3023
El Cañón	PNR	14	267	4522
Cuevitas	PNR	5	193	1494
Cabo Pearce	PNR	14	137	1709
Punta Tosca	PNR	21	328	5071
Roca Partida	PNR	4	13	155
Los Arcos Wall	BB	27	91	1087
Canilla	BB	5	10	32
Chimo	BB	5	12	26
Yelapa	BB	10	22	58
La Reina	La Reina	3	85	3589

7.2 Movimientos diarios

Las mantas gigantes pasaron la mayor parte del día dentro del rango de detección de los receptores colocados en los diferentes sitios de las áreas de estudio. Con base en las 20,768 detecciones de las 61 mantas marcadas en las tres áreas de estudio, se encontraron registros de individuos durante las 24 horas del día. Algunas mantas permanecieron durante el día y la noche cerca de los receptores, mientras que otras se alejaron durante la tarde y volvieron en las primeras horas del amanecer. En general, el 83.36% de las detecciones fueron de carácter diurno entre las 6:00 y 18:00 horas (Fig. 8A). El número de detecciones aumentó gradualmente desde las cinco hasta las 12 horas para luego comenzar a disminuir. La prueba de espaciado de Rao demostró que las detecciones registradas durante el día no fueron aleatorias ($p < 0.05$).

Para cada región el patrón de detección fue similar al mencionado anteriormente, aunque el número de detecciones, organismos registrados y horas con mayor actividad fueron diferentes. Para BB, con 31 individuos, la mayor actividad se presentó entre las 9:00 y las 13:00 hrs., con actividad nocturna entre las 21:00 y 2:00 horas (Fig. 8 B). Las tres mantas marcadas y registradas en La Reina presentaron mayor actividad entre las 6:00 y 15:00 horas, con un máximo de 350 detecciones (Fig. 8C). En el PNR (Socorro), la mayor actividad se observó entre las 11:00 y 13:00 horas con más de 600 detecciones pertenecientes a 24 mantas (Fig. 8D). En San Benedicto entre las 8:00 y 15:00 horas, con más de 800 detecciones de 25 individuos (Fig. 8E); finalmente, para Roca Partida, con 4 organismos detectados, la actividad se registró entre las 6:00 y 14:00 horas con un registro máximo de 22 detecciones (Fig. 8F).

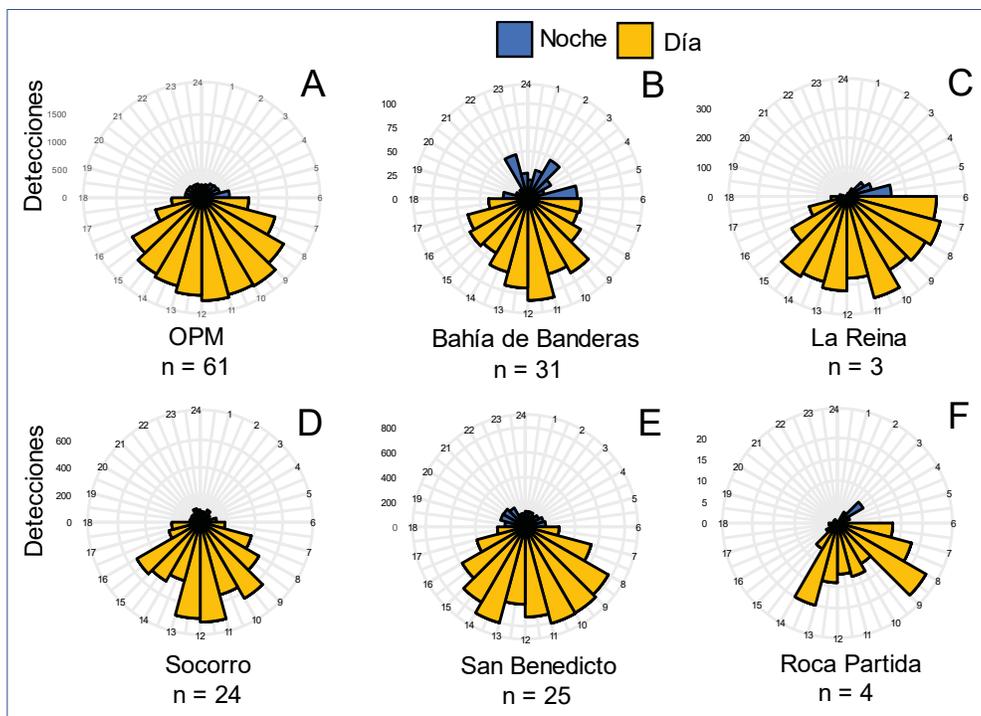


Figura 8. Movimientos diarios de las mantas gigantes marcadas. A) Patrón general para las tres áreas de estudio, B) Bahía de Banderas, C) La Reina, D) Isla Socorro, E) Isla San Benedicto y F) Roca Partida.

7.3 Residencia y estacionalidad

Las 61 mantas marcadas con transmisores acústicos fueron detectadas y fueron monitoreadas entre uno y dos años (365 a 731 días) (Fig. 9). Las mantas fueron detectadas de 1 a 188 días, con una media (\pm D.E.) de días detectadas de 25.72 ± 42.19 días. En general, las mantas presentaron variaciones individuales respecto al índice de residencia. Los valores encontrados tuvieron un rango de 0 a 0.33 (Fig. 10). La manta #3 presentó el IR más alto de 0.33 con 120 días detectada, seguida por la manta #10 con un IR de 0.29 con 106 días detectadas. Los IR menores tuvieron valores de cero para seis mantas (#1, 15, 31, 39, 42, 44, 49 y 50) que solo fueron detectadas un día.

El índice de residencia promedio para las islas del PNR fueron de 0.08 para San Benedicto (n= 25), 0.05 para Socorro (n=24) y 0.01 para Roca Partida (n=4), respectivamente. El IR promedio para BB y La Reina fue de 0.01 (n = 31) y 0.15 (n=3), respectivamente.

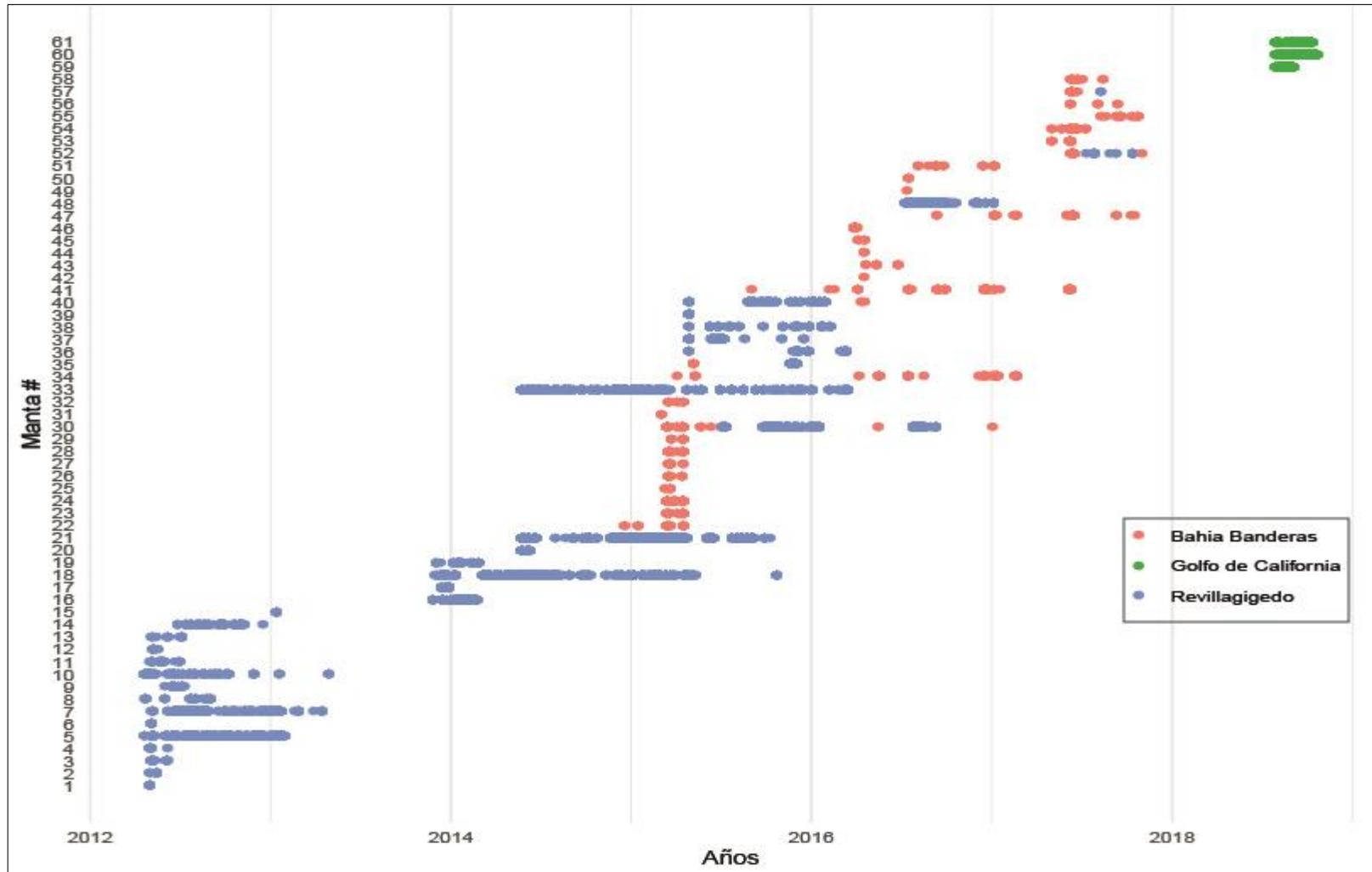


Figura 9. Cronología de registros de las 61 mantas gigantes detectadas en la red de receptores en el Pacífico mexicano. Cada punto representa detección y los colores refieren a los sitios: PNR, BB y La Reina.

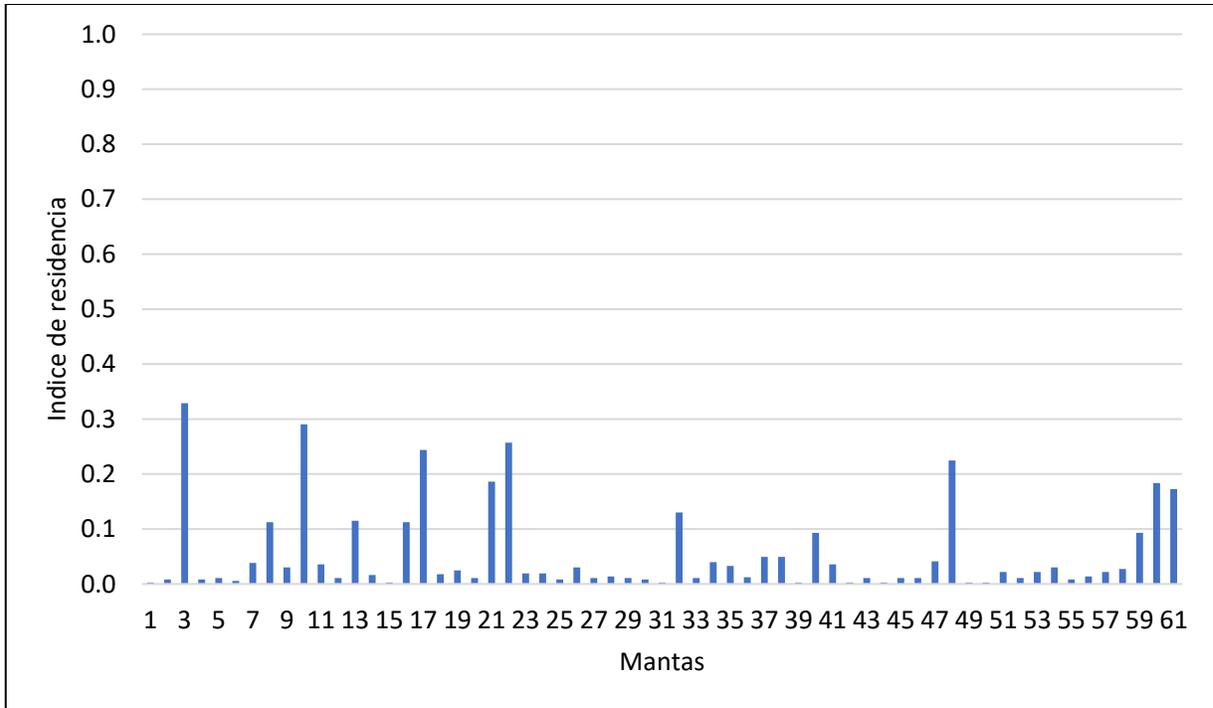


Figura 10. Índice de residencia por manta en el OPM.

Las detecciones semanales mostraron la estacionalidad de las mantas durante todo el año en las tres áreas de estudio (Fig. 11). En el PNR las detecciones demostraron que la presencia de las mantas en Isla Socorro ($n=24$) fue mayor durante el mes de enero y el periodo de julio a diciembre, con detecciones máximas en el mes de septiembre. En San Benedicto se tuvo la presencia de mantas gigantes durante todo el año ($n=25$), sin embargo, el mayor número de detecciones se registraron de enero a abril, en julio y en diciembre.

En Roca Partida ($n=4$) solamente se registraron mantas de enero a principios de febrero y picos en julio, septiembre y principios de diciembre. Sin embargo, la presencia de mantas se registró durante todo el año dentro del PNR. En BB ($n=31$) las mantas gigantes se registraron principalmente de marzo a junio con detecciones máximas de 200. El resto del año las detecciones de las mantas fueron menores a 50. Para La Reina, con las tres mantas marcadas, la estacionalidad perduró desde agosto hasta octubre de manera continua.

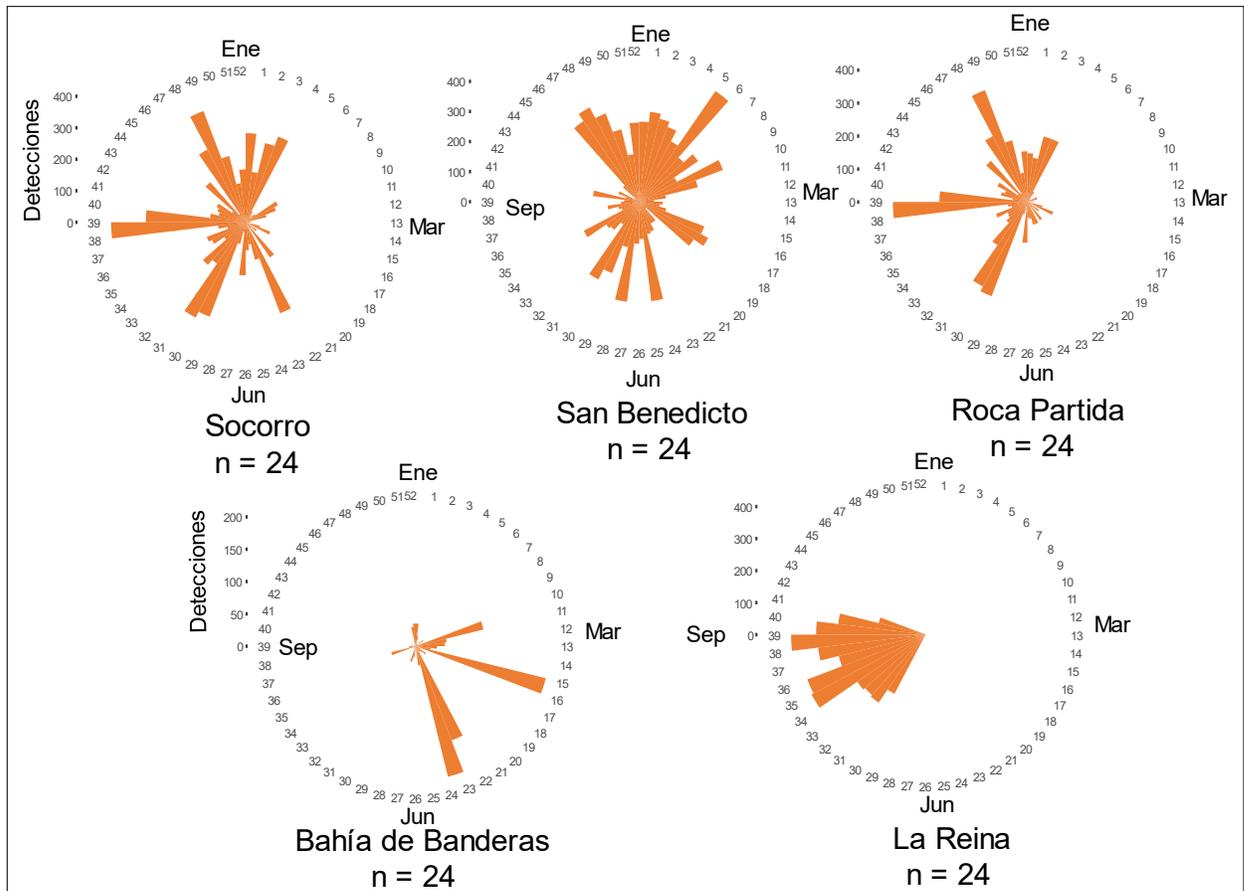


Figura 11. Movimientos semanales de las mantas gigantes en PNR, BB y La Reina.

7.4 Migraciones locales y regionales

Un total de 38 mantas fueron detectadas por más de un receptor durante el periodo de estudio, lo que indica que realizaron movimientos entre sitios un nuevo sitio (Anexo 2). El 36% de las mantas fueron registradas únicamente por dos receptores, mientras que el 9.8% y el 11.4% corresponden a las mantas detectadas en tres y cuatro receptores, respectivamente. Solamente dos mantas fueron detectadas en cinco y ocho receptores (manta #21 y manta #30, respectivamente).

A partir de los registros de detecciones, se obtuvieron 361 movimientos entre las estaciones con un promedio de 9.48 ± 24.1 movimientos. El número de movimientos entre las estaciones fue diferente para todos los individuos. Por ejemplo, la manta #18 realizó 30 movimientos y fue detectada por cuatro receptores: dos en Isla San Benedicto (Cuevitas y El Boiler) y dos en Isla Socorro (Cabo Pearce y Punta

Tosca). Las distancias entre los receptores de cada isla fueron menores a 20 km entre sí, mientras que la distancia entre ambas islas es de 58 km.

Del total de movimientos, se encontraron 327 movimientos en el PNR, los cuales fueron intra e interinsulares (entre tres islas: Socorro, San Benedicto y Roca Partida).

7.4.1 Movimientos intrainsulares y locales

Los movimientos intrainsulares se observaron en Isla San Benedicto, donde se registraron 227 movimientos entre sitios de la misma isla: 42.85% entre El Cañón y Cuevitas (ida y vuelta), y 45.09% entre El Cañón y El Boiler, con distancias recorridas entre 2.29 km y 3.78 km entre los sitios. En Isla Socorro se registraron movimientos entre Punta Tosca y Cabo Pearce (n=25) y viceversa (n=29), con una distancia aproximada de 15.22 km.

Para Bahía de Banderas, se registraron 31 movimientos entre los diferentes sitios de la bahía. El patrón más representativo fue entre Los Arcos y Yelapa con 17 interacciones (nueve de ida, y ocho de vuelta) y una distancia de 18.26 km. La distancia máxima recorrida fue de 40 km entre Los Arcos y Canilla (Fig. 12).

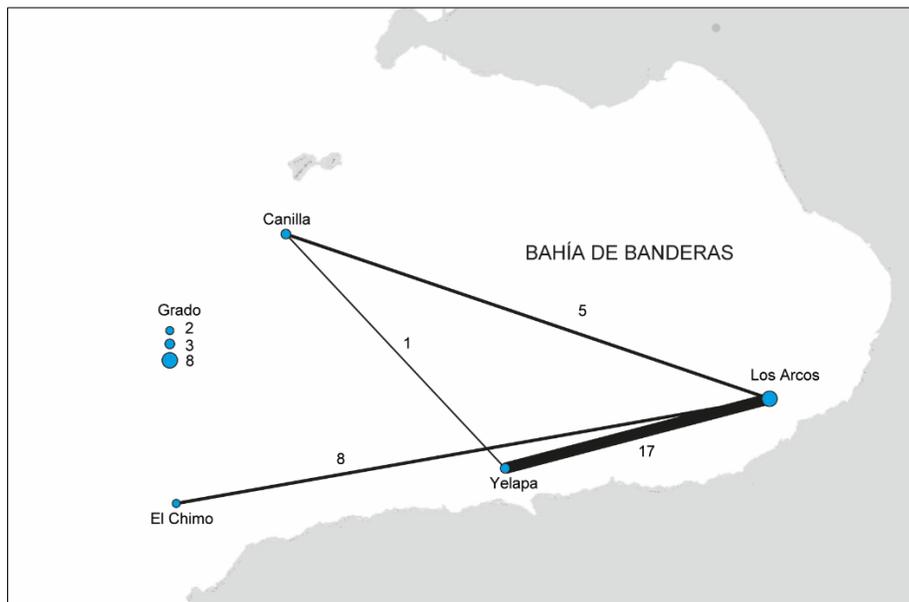


Figura 12. Análisis de redes de las mantas detectadas en el PNR. El tamaño de los círculos indica el grado. Las líneas negras hacen referencia a las conexiones entre los nodos; el grosor y el número son proporcionales a la frecuencia de los movimientos entre nodo.

7.4.1 Movimientos interinsulares y migraciones en el Pacífico mexicano

Los movimientos interinsulares más representativos fueron los realizados desde El Boiler (San Benedicto) a Punta Tosca (Socorro, $n=17$), seguido de movimientos de Punta Tosca (Socorro) a El Cañón (San Benedicto, $n=10$), y de El Boiler (San Benedicto) a Cabo Pearce (Socorro, $n=6$). Las distancias recorridas por las mantas en las tres islas tuvieron un rango entre 62 y 136 km de distancia (Fig. 13).

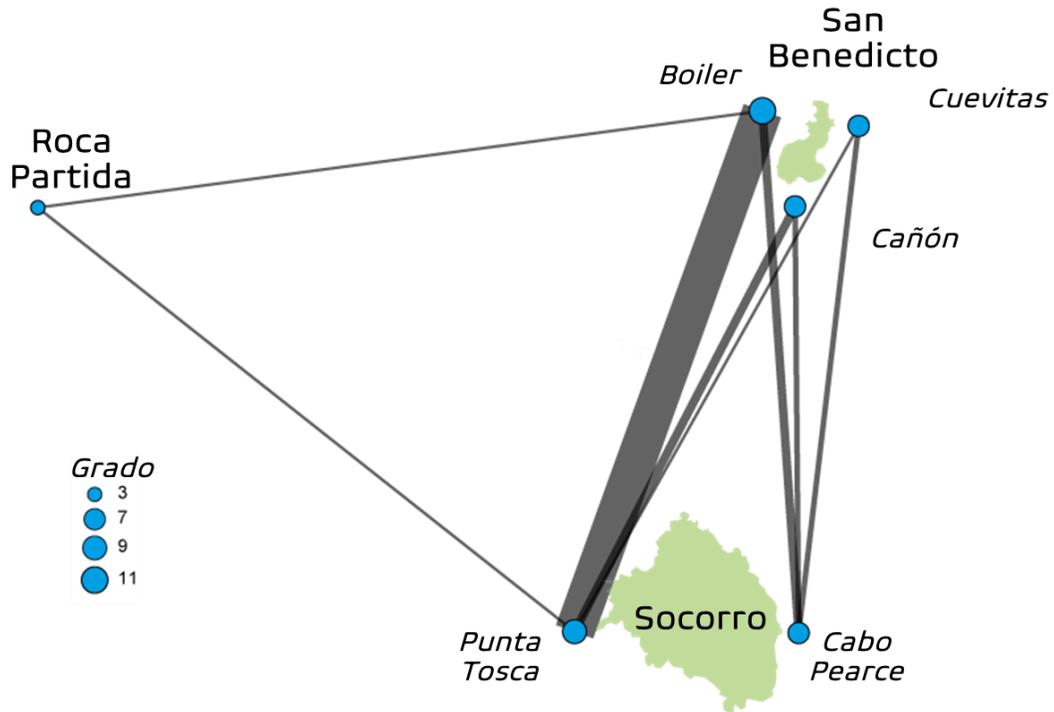


Figura 13. Análisis de redes de las mantas detectadas en el PNR. El tamaño de los círculos indica el grado. Las líneas negras hacen referencia a las conexiones entre los nodos; el grosor y el número son proporcionales a la frecuencia de los movimientos entre nodo.

A nivel regional se encontraron migraciones del PNR a BB y viceversa. Cuatro mantas gigantes marcadas en BB fueron registradas en el PNR y una manta marcada en el PNR fue registrada en BB. Los desplazamientos ocurrieron de Yelapa ($n=1$, 616 km) y Los Arcos ($n=2$, 634 km) en BB a Punta Tosca (Socorro), y desde Canilla en BB a El Cañón (San Benedicto, $n=1$, 560 km) y Roca Partida ($n=1$, 698.5 km). Este último fue el desplazamiento más largo realizado por una manta gigante durante el presente estudio. Estas migraciones tuvieron una duración de uno a seis meses y a pesar de

haberse realizado en diferentes años (2015-2017), todas iniciaron entre los meses de mayo y junio.

Las migraciones del PNAR a BB ocurrieron en un periodo no mayor a tres meses. De El Cañón (San Benedicto) a Yelapa en BB (n=2, 575 km) iniciaron a partir de la segunda mitad de enero 2016 y finalizaron en mayo 2016 (manta #30) y en abril 2016 (manta #40). De El Boiler (San Benedicto) a Los Arcos en BB (n=1, 593 km) de septiembre 2016 a enero 2017 (manta #30); y de Cabo Pearce (Socorro) a Chimo, BB (n=1, 589.2 km) de octubre 2017 a noviembre 2017 (manta #52).

La manta número #30 detectada en ocho receptores diferentes a lo largo de casi dos años de monitoreo, realizó cuatro migraciones entre el PNR y BB. La primera migración la realizó desde Canilla en BB (11/06/2015) hacia Roca Partida en el PNR (04/07/2015); la segunda migración la realizó desde El Cañón (17/01/2016) hacia Yelapa (15/05/2016); la tercera fue desde Yelapa (15/05/2016) hacia Punta Tosca (25/07/2016); y la cuarta fue desde El Boiler (09/09/2016) hacia Los Arcos (02/01/2017). Esta manta visitó las islas Socorro, San Benedicto y Roca Partida y fue detectada en tres de los cuatro receptores colocados en BB (Fig. 14). En suma, esta manta recorrió una distancia aproximada de 2,735 km entre ambas regiones durante el periodo de monitoreo

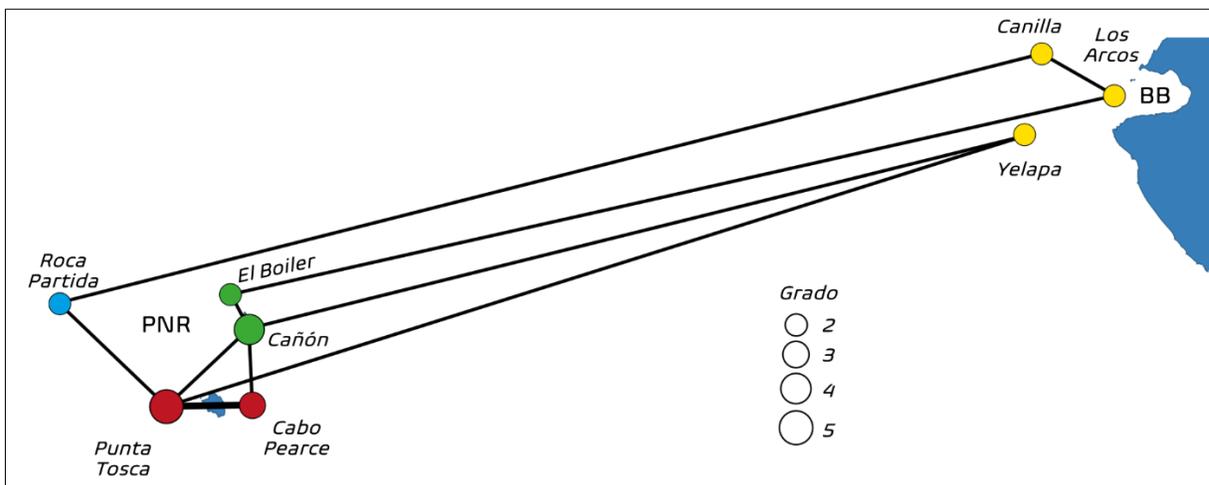


Figura 14. Análisis de redes de la manta #30 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor.

La manta número #35, detectada en dos receptores diferentes a lo largo de siete meses, realizó una migración desde Canilla en BB (7/05/15) hacia El Boiler en San Benedicto (18/11/2015) donde se registró por última vez (Fig. 15).

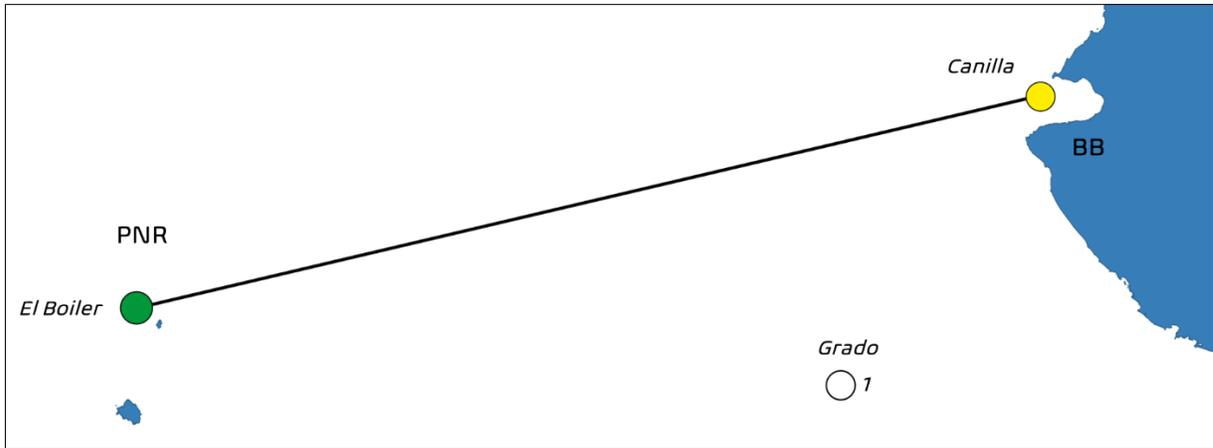


Figura 155. Análisis de redes de la manta #35 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, numero de enlaces para cada receptor.

La manta número #40, detectada en cuatro receptores diferentes a lo largo de un año, se movió entre El Boiler, Punta Tosca y El Cañón en el PNR, pero realizó una migración desde El Cañón (29/01/2016) hacia Yelapa (11/04/2016), sitio donde se registró por última vez (Fig. 16).

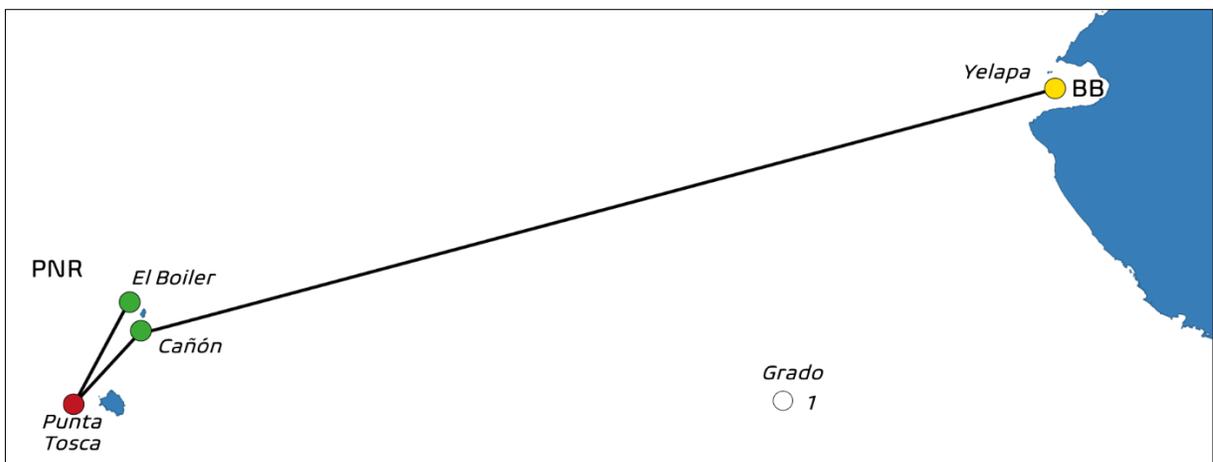


Figura 166. Análisis de redes de la manta #40 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, numero de enlaces para cada receptor.

La manta número #52, detectada en cuatro receptores diferentes a lo largo de un año, realizó una migración desde Los Arcos (16/06/2017) hacia Punta Tosca

(11/07/2017) y desde Cabo Pearce (11/10/2012017) hacia Chimo (1/11/2017), sitio donde se registró por última vez (Fig. 17).

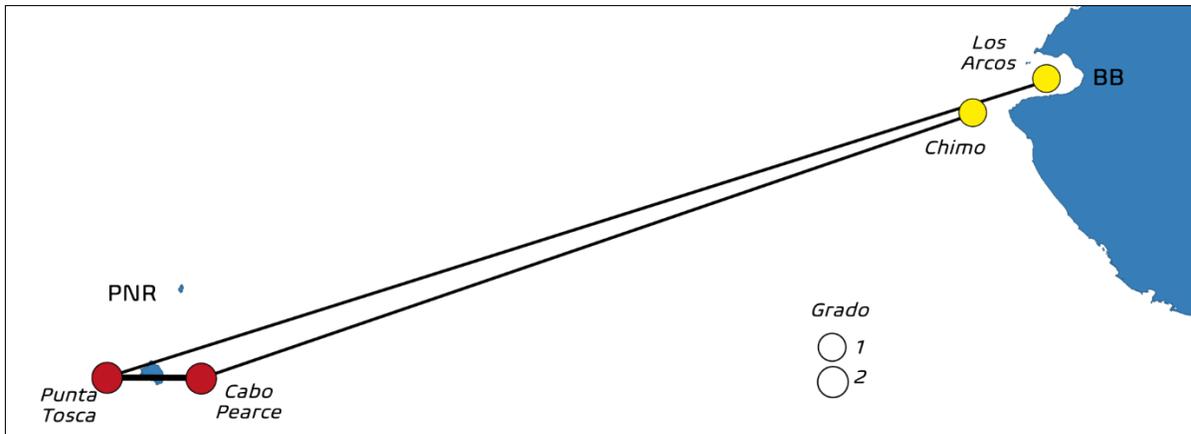


Figura 177. Análisis de redes de la manta #52 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor.

La manta número #57, detectada en dos receptores en un periodo de dos meses, realizó una migración desde Los Arcos (22/06/2017) hacia Punta Tosca (10/08/2017), sitio donde se registró por última vez (Fig. 18).

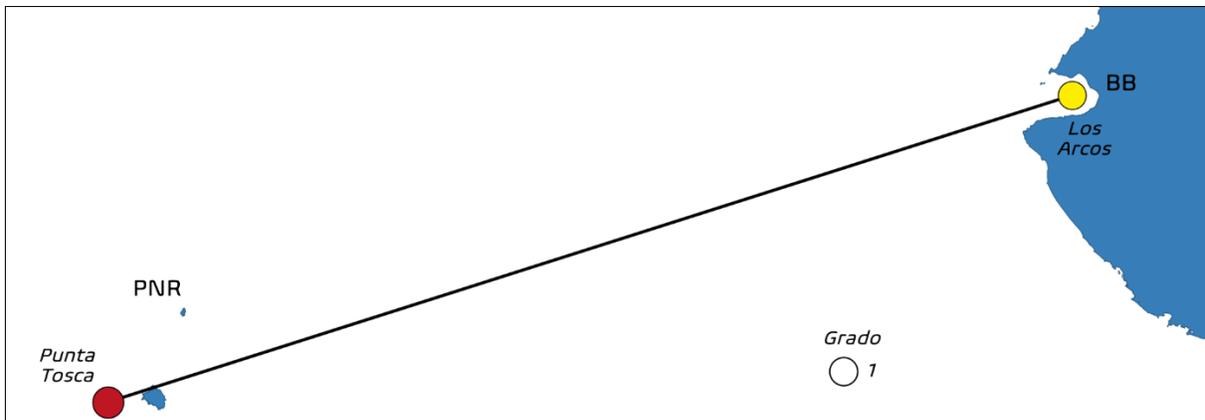


Figura 188. Análisis de redes de la manta #57 a través de las regiones del OPM. El tamaño del círculo representa el grado, número de enlaces para cada receptor.

De manera general, los valores obtenidos para las métricas de la red demostraron que dentro de la red del PNR, El Boiler (grado = 11) y Punta Tosca (grado = 9) fueron los sitios más importantes en cuanto al número de conexiones con otros sitios. Sin embargo, respecto a la centralidad, El Cañón obtuvo el valor mayor (Fig. 15). La densidad de la red del PNR fue de 0.73, lo que indica que se utiliza el 73% de

los sitios disponibles en la zona. Por su parte, en BB, Los Arcos fue el sitio más importante respecto al grado (8) y la centralidad (1) en relación con los otros receptores (2 y <0.03 , respectivamente; Fig. 16). El valor de densidad de esta red fue de 0.45.

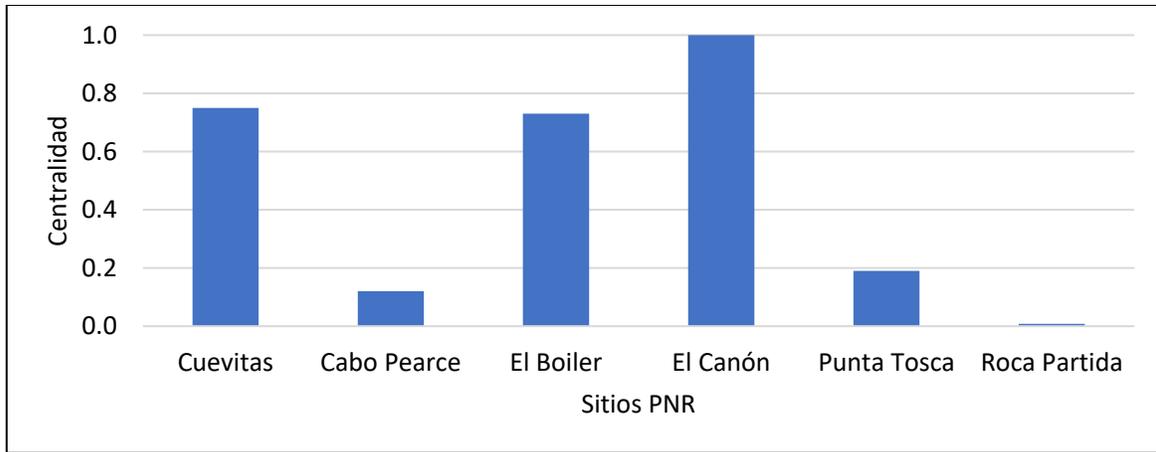


Figura 1919. Valores de centralidad que muestra la importancia de los sitios en el PNR.

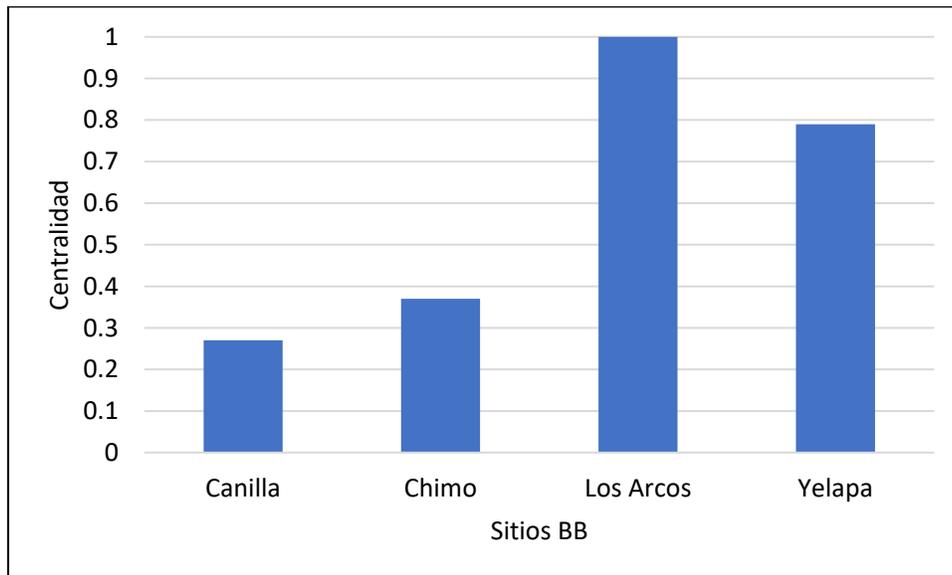


Figura 2020. Valores de centralidad que muestra la importancia de los sitios en BB.

7.5 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina

En los tres años de monitoreo se realizaron 122 salidas a campo, las cuales se dividieron en salidas de turismo (85.25%) y salidas del proyecto específicas (14.75%)

con las que se pudieron registrar 25 individuos diferentes de *Mobula birostris* en la parte sur de la Península de Baja California Sur dentro del Golfo de California (Anexo 2), los cuales fueron confirmados mediante fotografías. A pesar de que la mayoría del esfuerzo estuvo destinado a La Reina, se consiguieron registros de mantas en zonas aledañas. En total, se registraron 88 avistamientos: dos en El Mogote dentro de la Bahía de La Paz, dos en Pelican Rock en Cabo San Lucas y 84 registros en La Reina, Isla Cerralvo. Un total de 16 organismos presentaron recapturas por lo menos en una ocasión (máximo = 16, “Armando”) en los tres años de monitoreo.

El registro más largo con foto identificación en La Reina fue de 37 días; en los otros sitios solo fue de un día. El periodo más largo entre la primera y la última captura para una manta (“Lola”) fue de 338 días ya que fue observada nuevamente casi un año después en La Reina. Para 2018 los meses con mayores registros de encuentros y mayor número de mantas identificadas fueron agosto (33 registros y 11 mantas diferentes) y septiembre (11 registros y 7 mantas diferentes). Para 2019 se registraron solamente cinco mantas diferentes desde mayo a diciembre. En 2020, el mes con mayor registro de avistamientos fue julio con 20, pero solo tres mantas gigantes identificadas. Solamente una manta gigante (“Samba”) se movió desde La Reina el 31 de agosto de 2018 hacia El Mogote donde se observó el 2 de septiembre 2018 y después fue vista de nuevo y por última vez el 5 de septiembre de 2018 en La Reina. La distancia recorrida aproximada fue de ~70 km entre ambos sitios.

De las 25 mantas identificadas durante el periodo de estudio, 11 fueron hembras, 10 machos y a cuatro mantas no se les pudo determinar el sexo. La proporción de sexos fue de 1.1H:1M ($X^2= 0.047$, $gl= 1$, $p > 0.05$). Del total, 18 mantas presentaron el morfotipo chevrón y cinco el morfotipo negro. Todas las mantas identificadas en los tres años fueron organismos juveniles.

A partir de las grabaciones de fotogrametría laser se logró estimar la talla a dos de las tres mantas identificadas en 2020 (Fig. 17). La Longitud del Disco x Ancho del Disco promedio fue de 1.43 m y 3.01 m para un macho (Armando) y de 1.51 m x 2.86 m para una hembra (Norma). A pesar de que el resto de las mantas no fueron medidas, estas presentaron tamaños menores a 3500 mm y para los machos identificados los gonopterigios no sobrepasaron el borde de las aletas pélvicas ni estuvieron calcificados.

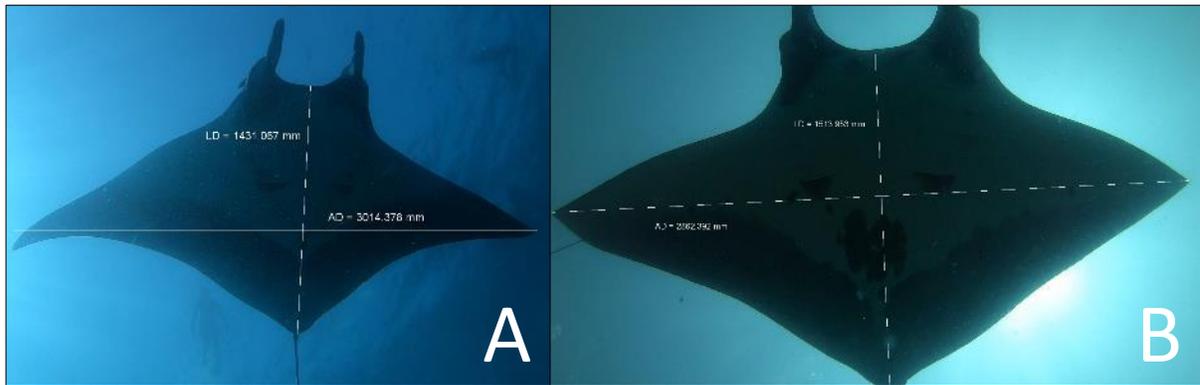


Figura 21. Medidas calculadas del LD y AD para dos mantas identificadas en 2020. A) Un macho “Armando”; B) Una hembra “Norma”.

VIII. DISCUSIÓN

En mobúlidos el uso de telemetría acústica pasiva es de gran utilidad para investigar la fidelidad al sitio, estacionalidad y uso del hábitat (Marshall, 2008; Dewar *et al.*, 2008; Couturier *et al.*, 2012).

8.1 Movimientos diarios

El análisis de los patrones de detección por 24 horas demostró una alta actividad en todos los sitios durante las horas con luz. El tiempo de llegada y partida de algunas mantas coincide con las horas de amanecer y atardecer en cada región. Dewar *et al.*, (2008) mencionan que un posible factor que explica este patrón es la preferencia de otros sitios durante la noche donde el receptor no detecta los transmisores. Sin embargo, ya se ha comprobado que las mantas se mueven hacia aguas abiertas durante la noche para alimentarse de plancton en la zona mesopelágica cerca de la termoclina, cuando esta se aproxima a la superficie (Graham *et al.*, 2012; Burgess *et al.*, 2016; Stewart *et al.*, 2016; Stewart *et al.*, 2019; Saad-Navarro *et al.*, 2020).

El patrón diurno de permanecer en la zona costera o cercano a islas oceánicas y alejarse durante la noche ha sido reportado para la especie en el Archipiélago de Revillagigedo entre 6:00-18:00 (Rubin *et al.*, 2010) y en Indonesia entre las 6:00-16:00 (Dewar *et al.*, 2008) lo que corrobora los reportes del presente estudio. Este patrón diurno-nocturno es común en otras especies de elasmobranquios como *Sphyrna lewini* (Klimley y Nelson 1981, 1984, Hearn *et al.* 2010; Ketchum *et al.* 2014; Nalesso *et al.*, 2019; Aldana-Moreno *et al.*, 2020), *Carcharhinus falciformis* y *C. galapagensis* (Lara-Lizardi *et al.*, en revisión) y *Mobula alfredi* (Peel *et al.*, 2019) que utilizan la noche para alimentarse.

Sin embargo, también se ha reportado casos donde las mantas realizan migraciones verticales para alimentarse durante el día en los sitios de agregación (Graham *et al.*, 2012; Stewart *et al.*, 2016; Ruiz-Sakamoto, 2018) y suben a superficie para recuperar calor corporal después de alimentarse en aguas profundas (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Burgess *et al.*, 2016). Este podría ser un factor del porque las mantas permanecen en superficie cerca del receptor.

Otro factor importante que puede influir en la preferencia diurna de las mantas es por visitar las estaciones de limpieza, sitios donde es común ver a las mantas cerca de la superficie o aguas poco profundas (Homma *et al.*, 1997; Dewar *et al.*, 2008; Rohner *et al.*, 2013; Stewart *et al.*, 2019). En el caso particular de La Reina, las mantas no fueron observadas alimentándose y no utilizaron el sitio como estación de limpieza, por lo que se sugiere que podrían utilizar el área como zona de refugio para optimizar energía durante el día previo a la búsqueda de alimento durante la noche, tal como se ha reportado para otras especies de elasmobranquios en áreas cercanas (Klimley y Nelson, 1981).

8.2 Residencia y estacionalidad

El índice de residencia depende subjetivamente de la duración del periodo de monitoreo, el cual no es comparable entre los estudios (Cagua *et al.*, 2015). Algunos autores sugieren que el índice de residencia debe calcularse al considerar el número de días de detección entre el número de días transcurridos desde el marcaje hasta la última detección (Reubens *et al.*, 2013; Nalesso *et al.*, 2019; Aldana-Moreno *et al.*, 2020). Sin embargo, los casos donde un organismo es marcado, detectado por primera y última vez el mismo día, su valor del IR será de 1, indicando que el animal fue residente al sitio cuándo en realidad solamente estuvo presente un día, a diferencia de otros individuos con mayor número de días presentes en el área.

Por lo anterior, en el presente trabajo se estableció el periodo de monitoreo a un año (a excepción de las que registraron detecciones por más de un año) con el fin de evitar malas interpretaciones que arrojen niveles de residencia altos cuándo los organismos han sido detectados en menor número de días respecto a otros. El índice de residencia únicamente ha sido evaluado para *M. birostris* en Bahía de Banderas por Ruiz-Sakamoto (2018) quién encontró valores de 0 a 1 con periodos de monitoreo de dos a 430 días. Pero, debido a que dichos valores recaen en la problemática anteriormente planteada, realizar una comparación con los valores del IR encontrados en el actual estudio resulta inapropiado.

El IR estimado para las tres áreas de estudio fue distinto. Los valores más altos del IR se registraron en Isla San Benedicto e Isla Socorro, lugares conocidos por la

presencia de estaciones de limpieza y alimentación para las mantas gigantes y otros elasmobranquios en El Boiler y Punta Tosca (Stewart *et al.*, 2019; Aldana-Moreno, 2020; Higuera-Ramírez y Hoyos-Padilla, comm. pers.).

La poca residencia encontrada en Roca Partida respecto a los otros sitios, probablemente se deba a que las mantas utilizan el sitio de manera esporádica o como punto de transición hacia otros destinos. Para Bahía de Banderas el IR fue bajo en relación con las otras regiones, confirmando los reportes sobre presencia esporádica a lo largo del año dentro de la bahía (Ruiz-Sakamoto, 2018; Stewart *et al.*, 2019). Por su parte, los valores encontrados en La Reina resultan elevados en comparación con los valores obtenidos en las otras dos regiones, presumiblemente porque las tres mantas marcadas fueron detectadas por un solo receptor de manera continua por tres meses.

Es necesario considerar que los valores obtenidos son una aproximación a la residencia de las mantas y que estos pueden variar por diversos factores como el área de cobertura de la red acústica (Espinoza *et al.*, 2016; Udyawer *et al.*, 2018), el efecto de los factores ambientales y el rango de detección de los receptores (Martínez Urrea, 2015; Stewart *et al.*, 2018a; Udyawer *et al.*, 2018), el tamaño de la muestra (Sequeira *et al.*, 2019) y es muy probable que aquellas mantas con pocas detecciones hayan perdido la marca de manera prematura o hayan dejado el sitio, imposibilitando registro.

Por otro lado, los cambios en la abundancia estacional de las mantas han sido documentados anteriormente en diversos sitios de agregación con repetidas recurrencias por periodos de hasta cuatro años en la misma área (Marshall, 2008; Clark, 2010; Kashiwagi *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2015). La presencia de mantas gigantes durante todo el año dentro del PNR ha sido documentada mediante la foto-identificación y telemetría satelital, lo que sugiere que existe una población residente en esta área pero se deben utilizar las diferentes herramientas disponibles para tener una mayor certeza de los resultados encontrados (Stewart *et al.*, 2016a, Preciado-González, 2018; Gutiérrez-Ortiz, 2019).

No obstante, se encontró una diferencia en la estacionalidad por isla debido a que los meses más importantes de detecciones para Isla Socorro fueron de junio a

diciembre y de enero a abril para Isla San Benedicto. En BB, las detecciones se registraron de marzo a junio y en La Reina solamente de agosto a octubre coincidiendo con los registros durante la primavera y verano dentro del Golfo de California (Ruiz-Sakamoto, 2018). Estas diferencias estacionales de las mantas están asociados a los cambios de temperatura a lo largo del año (Dewar *et al.*, 2008) y a la disponibilidad de alimento en zonas de agregación debido a los frentes y surgencias estacionales (Luiz *et al.*, 2009; Graham *et al.*, 2012; Hacoheh-Domené *et al.*, 2017; Stewart *et al.*, 2019).

8.3 Migraciones locales y regionales

El análisis de redes en conjunto con la telemetría acústica pasiva resultaron ser herramientas para examinar los movimientos locales y migraciones de una especie migratoria como la manta gigante, en las tres áreas de estudio. El periodo de monitoreo (2012 a 2018) y la colaboración entre diferentes grupos de trabajo en cuanto a la creación de una red de receptores amplia, ayudaron a obtener una buena representación de la conectividad migratoria de *M. birostris*. El análisis de redes proporciona una perspectiva sobre la importancia y la conectividad de los hábitos específicos de las especies permitiendo comprender la dinámica espacio temporal de los movimientos de los animales (Jacoby *et al.*, 2012).

Derivado de las redes generadas, se encontró que los movimientos de las mantas y el movimiento en los sitios de agregación fueron diversos, con algunos movimientos observados consistentemente. Sin embargo, se debe considerar que las diferencias de esfuerzo de marcaje, la red de receptores y la cobertura de los receptores afectaron los resultados (Lara-Lizardi, 2018).

8.3.1 Movimientos intrainsulares y locales

Los registros encontrados en este trabajo en un periodo de siete años demuestran que algunos individuos permanecen largos periodos en una misma zona, realizando movimientos alrededor de un área específica sin desplazarse a otros sitios. Los movimientos de mantas gigantes dentro del PNR demostraron que la mayoría de las mantas gigantes tienden a moverse alrededor de una sola isla, mientras que otras, suele realizar movimientos inter insulares (Preciado-González, 2018; Gutiérrez-Ortiz, 2019).

Los pocos movimientos registrados de las mantas gigantes en BB con distancias de 19 a 40 km pueden estar influenciados por la presencia permanente de embarcaciones de pesca y turismo que transitan en el área que además de generar ruido y disturbio en la superficie del mar, afectan a las mantas al tener colisiones con estas (Girón-Nava *et al.*, 2015; Domínguez-Sánchez, 2017;). Además, es probable que las mantas sean transitorias o que utilizan la zona norte de la bahía, área que no cuenta con la presencia de receptores acústicos por lo que se imposibilita el monitoreo de mantas (Stewart *et al.*, 2016a; Ruiz-Sakamoto, 2018).

8.3.2 Movimientos interinsulares y migraciones en el Pacífico mexicano

Los movimientos interinsulares se presentaron desde y hacia diferentes sitios de las tres islas con distancias recorridas por las mantas gigantes dentro del PNR de 60 a 150 km. La ruta entre El Boiler y Punta Tosca fue la más representativa con un mayor número de movimientos entre estos sitios, lo que podría indicar un corredor dentro del Archipiélago en búsqueda de zonas de alimentación, estaciones de limpieza y de cortejo para la especie (Aldana-Moreno, 2020; Higuera-Ramírez y Hoyos-Padilla *comm. pers.* 2020).

Las poblaciones de mantas gigantes suelen estar bien estructuradas y presentar un grado de residencia alta (Graham *et al.*, 2012; Hearn *et al.*, 2014; Stewart, *et al.*, 2016a). Sin embargo, los resultados del presente estudio demostraron que existen migraciones entre las poblaciones de mantas gigantes del PNR y BB, contrario a lo dicho por Stewart *et al.*, (2016a) quienes encontraron que las mantas gigantes de ambas regiones no realizan movimientos migratorios de largo alcance y sus áreas geográficas a través de los años. Las detecciones acústicas encontradas para las cinco mantas que realizaron migraciones entre estas regiones son una de las primeras evidencias de conectividad entre ambas regiones. No obstante, se debe considerar que las migraciones esporádicas han sido reportadas para la especie y otros elasmobranchios tales como *Mobula alfredi* (Arauz *et al.*, 2019), *Nasolamia velox* (Lara-Lizardi, 2017), *Carcharhinus falciformis* y *C. galapagensis* (Lara-Lizardi *et al.*, *en revisión*) y *C. leucas* (Espinoza *et al.*, 2016).

Las movimientos y migraciones de las mantas están influenciados por la disponibilidad de alimento (Marshall, 2008; Couturier *et al.*, 2012; Croll *et al.*, 2012). Además, el estado de madurez de las mantas puede ser un factor del porque los juveniles no recorren grandes distancias en comparación con los organismos adultos, debido a su menor experiencia en la búsqueda de alimento en zonas oceánicas y aguas profundas, por lo que utilizan de manera distinta los hábitats (Grubbs, 2010; Stewart *et al.*, 2018a; Peel *et al.*, 2019, 2019a). Por tal motivo, a diferencia de las mantas marcadas en el PNR y BB, las mantas juveniles de La Reina solo presentaron movimientos locales (encontrados mediante foto identificación) y no fueron detectadas en otros receptores dentro de la red acústica.

Las migraciones reportadas para la especie van desde 350 km a más de 1,000 km (Homma *et al.*, 1997; Mundy-Taylor & Crook, 2013). Sin embargo, aun cuando las distancias de los movimientos encontrados entre el PNR y BB son menores a dicha distancia, los registros encontrados resultan en las distancias más largas recorridas para una manta gigante en el OPM, donde la distancia mayor se registró por la manta #30, la cual viajó aproximadamente 698 km desde Canilla hacia Roca Partida en un periodo de un mes.

Las migraciones a pequeña o gran escala tienen implicaciones de riesgo para los individuos. Las migraciones encontradas de manera regional entre el PNR y BB se realizaron entre un área natural protegida y otra no protegida lo que pone a los individuos en gran riesgo de amenazas al realizar sus migraciones ya que podrían ser objeto de pesca incidental o colisiones de embarcaciones (Andrzejaczek *et al.*, 2020). Aunque actualmente la especie se encuentra protegida por leyes mexicanas federales, la pesca incidental de elasmobranquios es recurrente en las costas mexicanas (Smith *et al.*, 2009).

Planes de manejo y códigos de conducta han sido establecidos y utilizados en el PNR y La Reina con el fin de regular las actividades turísticas sin afectar a las especies presentes (Saad-Navarro *et al.*, 2020). Sin embargo, BB es una zona de mucho tráfico marino y zona pesquera, donde existen registros de daños por propelas a las mantas gigantes (Domínguez-Sánchez, 2017). Por lo tanto, es necesario la

consideración de diversos factores que sean útiles para la protección de especies migratorias cómo la manta gigante.

8.4 Caracterización de la agregación de mantas en La Reina

La foto identificación demostró ser una herramienta útil para reconocer a los individuos de manta gigante en el sur del Golfo de California. Gracias a esta, se registraron recapturas de varios organismos, lo cual ayudó a determinar que las mantas no tuvieron un rango de dispersión amplio debido a que éstas fueron observadas repetidamente en el mismo sitio de agregación, principalmente en La Reina.

La mayoría de los registros de las mantas fueron obtenidos principalmente por fotografías proporcionadas por buzos turistas, cuyo aporte representó el 80% de los registros totales del presente estudio. Esta acción demuestra que el aporte de turistas, conocido como ciencia ciudadana, representa más del 60% de registros fotográficos en campo de mantas y otros elasmobranquios y puede ser utilizada para generar información de carácter científico para diversas especies con un aporte indefinido de registros (Bonney *et al.*, 2009; Vianna *et al.*, 2014; Armstrong *et al.*, 2019).

Las mantas identificadas en La Reina estuvieron presentes por periodos máximos de cuatro meses, pero es difícil determinar si esta periodicidad es comparable con otros estudios debido a que no existen registros definidos de residencia de mantas en etapas juveniles. Caso contrario con los organismos adultos quienes presentan fidelidad a ciertos sitios (Marshall, 2008; Stewart *et al.*, 2018).

No obstante, las diferencias en el número de mantas identificadas y la abundancia observada entre 2018 y 2020, así como el reavistamiento de una manta un año después, podrían estar influenciadas por las fluctuaciones ambientales (Jaine *et al.*, 2012; Couturier *et al.*, 2014), actividades antropogénicas de pesca y turismo no controlado (Marshall *et al.*, 2011), por depredación natural (Marshall & Bennett, 2010) o por las diferencias en el esfuerzo de muestreo por parte del proyecto y ciencia ciudadana (Couturier *et al.*, 2014). Para corroborar la influencia de estos factores sobre la abundancia de las mantas se requiere de un monitoreo de muchos años y un control del esfuerzo de monitoreo.

De acuerdo con Marshall (2008) las mantas encontradas en Baja California Sur dentro del Golfo de California presentaron características morfológicas de carácter juvenil. Para los machos, en ningún caso los gonopterigios superaron el borde de las aletas pélvicas, no presentaron calcificación a simple vista e incluso no se observó la presencia de glándulas seminales visibles. Por su parte, como no es posible determinar la madurez de las hembras sin evidencia de marcas de reproducción, preñez o con el vientre distendido (Couturier *et al.*, 2014), todas las hembras identificadas se consideraron inmaduras.

Otro aspecto para considerar es la talla del AD. Diversos autores han determinado que los organismos maduros presentan tallas superiores a los 375 cm de AD para machos y 400 cm en hembras (White *et al.*, 2006; Marshall, 2008; Dominguez-Sánchez, 2017; Stewart *et al.*, 2018a). De acuerdo con Marshall (2008) quién reportó organismos recién nacidos o de un año de vida con tallas de 1.5 a 1.67 m AD en Mozambique, los resultados encontrados en el presente estudio son un indicador de que las mantas observadas en La Reina son organismos juveniles y podrían estar en su segundo o tercer año de vida.

Es importante aclarar que las posibles fuentes de error de medición fueron disminuidas por tener los láseres fijos a una montura y tomar fotografías perpendiculares pero se requiere determinar el grado de distorsión de la imagen provocada por la refracción de la luz y el lente de la cámara, así como conocer el error de medición de los láseres (Deakos, 2010). Si bien, solo se pudieron medir dos individuos en el presente estudio, estos datos resultan en una aproximación de las tallas de AD de organismos juveniles dentro del Golfo de California pero es necesario obtener más medidas de más individuos y hacer comparaciones entre las mediciones de un mismo individuo (Deakos, 2010).

Los datos obtenidos en el presente estudio de 2018 a 2020 y los registros de mantas gigantes en el periodo de 1999 a 2003 (Saad-Navarro *et al.*, 2020) demuestran que La Reina y zonas aledañas son visitadas por organismos juveniles de *M. birostris*, contrario a lo reportado por (Stewart *et al.*, 2018) quienes mencionan que es raro encontrar organismos con un AD menor a 3.5 m en el Océano Pacífico mexicano. Por

tanto, al encontrar mantas juveniles en La Reina se podría suponer que el suroeste del Golfo de California (La Reina y zonas aledañas) podría funcionar como una posible área de crianza para la especie siguiendo los criterios planteados por Heupel *et al.*, (2007), quienes menciona que la densidad de organismos jóvenes debe ser mayor que en otras áreas; los organismos suelen permanecer o regresar por largos periodos; y el área es utilizada a través de los años.

Es necesario continuar con el monitoreo constante a través de la foto identificación para determinar si las mantas son residentes o transitorias y si el estado de madurez perdura a través de los años en el área.

Este estudio resalta la importancia del La Reina como un hábitat crítico para la manta gigante dentro del Golfo de California. Es importante el manejo de la presión antropogénica tanto de pesca, como de turismo ya que pudieran tener un impacto directo en los patrones de visita de las mantas a los sitios de agregación (Marshall *et al.*, 2011), más aún en sitios donde esta especie catalogada como vulnerable pasa sus primeras etapas de vida.

IX. CONCLUSIONES

La mayor actividad de las mantas se registró entre las 6 am y 5pm, lo cual puede estar relacionado con el uso de los sitios como estaciones de limpieza, alimentación o refugio.

La residencia de las mantas fue diferente en las tres áreas de estudio: estuvieron presentes todo el año en el PNR, de marzo a junio en BB y de agosto a octubre en La Reina.

Las mantas gigantes realizan movimientos de manera local en cada región y migraciones bidireccionales entre el PNR y BB a través de rutas preferentes.

Se registró el recorrido más largo para *Mobula birostris* con una distancia aproximada de 2,735 km en un periodo de 22 meses.

Debido a la presencia de organismos juveniles en La Reina, se podría suponer una posible área de crianza para la especie.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Muñoz, A., Méndez-Sánchez, F., Ortiz-Alcaraz, A., Del Mazo-Maza, A., Fueyo-Mac Donald, F., Rhodes-Espinoza, A., Bellot-Rojas, M., Bermúdez-Almada, B., Navarro-Sánchez, M.J., Gallina-Tessaró, M.P. y García-Martínez, S. A. (2015). *Formulario de nominación del Bien Natural “Archipiélago de Revillagigedo” para su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial, presentado al Centro de Patrimonio Mundial de la UNESCO.*
- Aldana-Moreno, A. 2020. Movimientos , residencia y preferencias ambientales del tiburón martillo en dos archipiélagos: Revillagigedo y Espíritu Santo, México. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 137 p.
- Aldana-Moreno, A., E.M. Hoyos-Padilla, R. González-Armas, F. Galván-Magaña, A. Hearn, A. P. Klimley, W. Winram, E. E. Becerril-García & J. T. Ketchum. 2020. Residency and diel movement patterns of the endangered scalloped hammerhead *Sphyrna lewini* in the Revillagigedo National Park. *J. Fish Biol.*, 96(2): 543–548. <https://doi.org/10.1111/jfb.14239>
- Altabet, M. A., C. Pilskaln, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez & R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the eastern North Pacific. *Deep-Sea Res. Pt1*, 46(4): 655–679. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(98\)00084-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(98)00084-3)
- Anderson, C., & A. Waheed. 2001. The economics of shark and ray watching in the Maldives. *Shark News*, 13(July): 1–3.
- Anderson, R.C., M.S. Adam, A.M. Kitchen-Wheeler & G. Stevens. 2011. Extent and economic value of manta ray watching in Maldives. *Tour. Mar. Environ.*, 7(1): 15–27. <https://doi.org/10.3727/154427310X12826772784793>
- Andrzejaczek, S., D. Curnick, T. Chapple, A. Carlisle, M. Castleton, D. Jacoby, L. Peel, R. Schallert, D. Tickler & B. Block. 2020. Individual variation in residency and regional movements of reef manta rays *Mobula alfredi* in a large marine protected area. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, *In press*, 137–153.
- Arauz, R., E. J. Chávez, E. M. Hoyos-Padilla, & A.D. Marshall. 2019. First record of the reef manta ray, *Mobula alfredi*, from the eastern Pacific. *Mar. Biodivers. Records*, 12(1): 4–9. <https://doi.org/10.1186/s41200-019-0162-9>
- Armstrong, A. O., A. J. Armstrong, M. B. Bennett, A. J. Richardson, K. A. Townsend & C. L. Dudgeon. 2019. Photographic identification and citizen science combine to reveal long distance movements of individual reef manta rays *Mobula alfredi* along Australia’s east coast. *Marine Biodiver. Records*, 12(1): 10–15. <https://doi.org/10.1186/s41200-019-0173-6>
- Bansemmer, C. S. & M.B. Bennett. 2008. Multi-year validation of photographic identification of grey nurse sharks, *Carcharias taurus*, and applications for non-invasive conservation research. *Mar. Freshwater Res.*, 59(4): 322–331. <https://doi.org/10.1071/MF07184>

- Bonney, R., C. B. Cooper, J. Dickinson, S. Kelling, T. Phillips, K. V. Rosenberg & J. Shirk. 2009. Citizen science: A developing tool for expanding science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, 59(11): 977–984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Brattstrom, B. H. 1990. Biogeography of the Islas Revillagigedo, Mexico. *J. Biogeogr.*, 17(2): 177. <https://doi.org/10.2307/2845325>
- Braun, C. D., G. B. Skomal, S. R. Thorrold & M. L. Berumen. 2015. Movements of the reef manta ray (*Manta alfredi*) in the Red Sea using satellite and acoustic telemetry. *Mar. Biol.*, 162(12): 2351–2362. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2760-3>
- Brooks, K., D. Rowat, S. J. Pierce, D. Jouannet, M. Vely, & K. B. E. T. Al. 2010. Seeing Spots: Photo-identification as a regional tool for whale shark identification. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 9(2): 185–194.
- Burgess, K. B., M. Guerrero, A.J. Richardson, M.B. Bennett, & A.D. Marshall. 2018. Use of epidermal mucus in elasmobranch stable isotope studies: A pilot study using the giant manta ray (*Manta birostris*). *Mar.Freshwater Res.*, 69(2): 336–342. <https://doi.org/10.1071/MF16355>
- Burgess, K. B., L. I. E. Couturier, A. D. Marshall, A. J. Richardson, S. J. Weeks & M. B. Bennett. 2016. *Manta birostris*, predator of the deep? Insight into the diet of the giant manta ray through stable isotope analysis. *Roy. Soc. Open Sci.*, 3(11). <https://doi.org/10.1098/rsos.160717>
- Cagua, E. F., J. E. M. Cochran, C.A. Rohner, C. E. M. Prebble, T. H. Sinclair-Taylor, S. J. Pierce & M. L. Berumen. 2015. Acoustic telemetry reveals cryptic residency of whale sharks. *Biol. Letters*, 11(4). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0092>
- Camaclang, A. E., M. Maron, T. G. Martin, & H. P. Possingham. 2015. Current practices in the identification of critical habitat for threatened species. *Conserv. Biol.*, 29(2): 482–492. <https://doi.org/10.1111/cobi.12428>
- Carpentier, A. S., C. Berthe, I. Ender, F. R. A. Jaine, J. Mourier, G. Stevens, M. De Rosemont & E. Clua. 2019. Preliminary insights into the population characteristics and distribution of reef (*Mobula alfredi*) and oceanic (*M. birostris*) manta rays in French Polynesia. *Coral Reefs*, 38(6): 1353. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01862-0>
- Carriquiry, J. D., & H. Reyes-Bonilla. 1997. Community Structure and Geographic Distribution of the coral reefs of Nayarit, Mexican Pacific. *Cienc. Mar.*, 23(2): 227–248. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7773/cm.v23i2.793>
- Cartamil, D. P., J. J. Vaudo, C. G. Lowe, B. M. Wetherbee & K. N. Holland. 2003. Diel movement patterns of the Hawaiian stingray, *Dasyatis lata*: Implications for ecological interactions between sympatric elasmobranch species. *Mar. Biol.*, 142(5): 841–847. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1014-y>
- Castro, J. I. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina , with a review of the

- shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Environ. Biol. Fish.*, 3748–3748.
- Clark, T. B. 2010. Abundance, home range, and movement patterns of manta rays (*Manta Alfredi*, *M. Birostris*) in Hawai'i.
- Clements, S., D. Jepsen, M. Karnowski & C. B. Schreck. 2005. Optimization of an acoustic telemetry array for detecting Transmitter-Implanted Fish. *N. Am. J. Fish. Manage.*, 25(2): 429–436. <https://doi.org/10.1577/m03-224.1>
- CONANP. 2004. Programa de conservación y manejo Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo. 220 p.
- CONANP. 2017. Programa de manejo: Parque Nacional Revillagigedo. 328p.
- CONAPESCA-INAPESCA. 2004. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones , Rayas y Especies Afines en México.
- Coria-Benet, R. 1995. Climatología, 71–76. In: Ortega, A., Castellanos, A. y Arnaud, G. 1995. *Estrategia para el manejo de Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.*
- Cortés-Lara, M. D. C., R. Cortés-Altamirano & A. P. Sierra-Beltrán. 2004. Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas de Bahía de Banderas, Pacífico Mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 52(SUPPL. 1): 35–49. <https://doi.org/10.15517/rbt.v52i1.26517>
- Couturier, L. I.E., C.L. Dudgeon, K.H. Pollock, F.R.A. Jaine, M.B. Bennett, K.A. Townsend, S.J. Weeks & A.J. Richardson. 2014. Population dynamics of the reef manta ray *Manta alfredi* in eastern Australia. *Coral Reefs*, 33(2): 329–342. <https://doi.org/10.1007/s00338-014-1126-5>
- Couturier, L.I.E., A.D. Marshall, F.R.A. Jaine, T. Kashiwagi, S.J. Pierce, K.A. Townsend, S.J. Weeks, M.B. Bennett & A.J. Richardson. 2012. Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *J. Fish Biol.*, 80(5): 1075–1119. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03264.x>
- Couturier, L. I. E., F. R. A. Jaine & T. Kashiwagi. 2015. First photographic records of the giant manta ray *Manta birostris* off eastern Australia. *PeerJ*, 3(1): 1–9. <https://doi.org/10.7717/peerj.742>
- Couturier, L. I. E., F. R. A. Jaine, K. A. Townsend, S. J. Weeks, A. J. Richardson & M. B. Bennett. 2011. Distribution, site affinity and regional movements of the manta ray, *Manta alfredi* (Kreffft, 1868), along the east coast of Australia. *Mar. Freshwater Res.*, 62(6): 628–637. <https://doi.org/10.1071/MF10148>
- Croll, D. A., K.M. Newton, K. Weng, F. Galván-Magaña, J. O'Sullivan, & H. Dewar. 2012. Movement and habitat use by the spine-tail devil ray in the Eastern Pacific Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 465, 193–200. <https://doi.org/10.3354/meps09900>
- Csardi G. & T. Nepusz. 2006. "The igraph software package for complex network research." *InterJournal, Complex Systems*, 1695. <https://igraph.org>.

- Curry, J. R., F. J. Emmel & P. J. S. Crampton. 1969. Holocene history of a strand plain, lagoonal coast, Narayit, Mexico, 63–100, *In: Ayala-Castañares (Ed.), Lagunas costeras: un simposium.*
- Curtis, H. & A. Schnek. 2008. *Biología*, 7th edition. Médica Panamericana. 1160 p.
- De Boer, M. N., J. T. Saulino, T. P. Lewis & G. Notarbartolo-Di-Sciara. 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. <https://doi.org/10.1017/S1755267214001432>
- 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*. *Aquat. Biol.*, 10(1): 1–10. <https://doi.org/10.3354/ab00258>
- Deakos, M. H., J. D. Baker & L. Bejder. 2011. Characteristics of a manta ray *Manta alfredi* population off Maui, Hawaii, and implications for management. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 429: 245–260. <https://doi.org/10.3354/meps09085>
- Dewar, H., P. Mous, M. Domeier, A. Muljadi, J. Pet & J. Whitty. 2008. Movements and site fidelity of the giant manta ray, *Manta birostris*, in the Komodo Marine Park, Indonesia. *Mar. Biol.*, 155(2): 121–133. <https://doi.org/10.1007/s00227-008-0988-x>
- DOF. 2006. NORMA Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento.
- DOF. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- DOF. 2017. Decreto por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de Parque Nacional, la región conocida como Revillagigedo, localizada en el Pacífico Mexicano. Diario Oficial de la Federación.
- DOF. 2019. Modificación del Anexo Normativo II. NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Domínguez-Sánchez, P. S. 2017. Estructura poblacional de manta gigante (*Mobula birostris* Walbaum, 1792) en Bahía de Banderas y el Archipiélago de Revillagigedo, México. 57 p.
- Duffy, C. A. J. & D. Abbott. 2003. Sightings of mobulid rays from northern New Zealand, Sightings of mobulid rays from northern New Zealand, with confirmation of the occurrence of *Manta birostris* in New Zealand waters. *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, 37(4): 715–721.
- Dulvy, N.K., S.A. Pardo, C.A. Simpfendorfer & J.K. Carlson. 2014. Diagnosing the dangerous demography of manta rays using life history theory. *PeerJ*, 2, e400. <https://doi.org/10.7717/peerj.400>

- Espinoza, M., M. R. Heupel, A. J. Tobin & C. A. Simpfendorfer. 2014. Residency patterns and movements of grey reef sharks (*Carcharhinus amblyrhynchos*) in semi-isolated coral reef habitats. *Mar. Biol.*, 162(2): 343–358. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2572-x>
- Espinoza, M., M. R. Heupel, A. J. Tobin & C. A. Simpfendorfer. 2015. Movement patterns of silvertip sharks (*Carcharhinus albimarginatus*) on coral reefs. *Coral Reefs*, 34(3): 807–821. <https://doi.org/10.1007/s00338-015-1312-0>
- Espinoza, M., M. R. Heupel, A. J. Tobin & C. A. Simpfendorfer. 2016. Evidence of Partial Migration in a Large Coastal Predator: Opportunistic Foraging and Reproduction as Key Drivers? *PLoS ONE*, 11(2): 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147608>
- Fernando, D. & G. Stevens. 2011. A Study of Sri Lanka's Manta & Mobula Ray Fishery. *The Manta Trust*, 1–29.
- Fiedler, P. C. & L.D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69(2–4): 143–180. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.008>
- Francis, M. P. 2006. Morphometric minefields - Towards a measurement standard for chondrichthyan fishes. *Environ. Biol. Fish.*, 77(3–4): 407–421. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9109-1>
- Gallegos-Guadarrama, M. 2012. *Caracterización de los servicios ecosistémicos en el complejo insular Espíritu Santo, Baja California Sur, México: el buceo recreativo en caso de estudio*. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Girón-Nava, A., J. Stewart, A. Ruiz-Sakamoto, & O. Aburto-Oropeza. 2015. Why are there mantas in Bahía de Banderas, Mexico? *DataMares. InteractiveResource*, 2014, 2. <https://doi.org/10.13022/M3K011>
- Graham, R. T., M. J. Witt, D. W. Castellanos, F. Remolina, S. Maxwell, B. J. Godley & L. A. Hawkes. 2012. Satellite tracking of manta rays highlights challenges to their conservation. *PLoS ONE*, 7(5): 3–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036834>
- Griffin, D. 1982. Review : Ecology of Migration: Is Magnetic Orientation a Reality? *The Quarterly Review of Biology*, 57(3): 293–295.
- Grubbs, R. D. 2010. Ontogenetic shifts in movements and habitat use. In: Carrier, J. C., J. A. Musick & R. M. Heithaus. *Sharks and their Relatives II*. 319–350.
- Gutiérrez-Ortiz, M. A. 2019. Movimientos y fidelidad al sitio de *Mobula birostris* (Walbaum, 1792) en el Parque Nacional Revillagigedo (2015-2017). Tesis de grado. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 62p.
- Hacohen-Domené, A., R. O. Martínez-Rincón, F. Galván-Magaña, N. Cárdenas-Palomo & J. Herrera-Silveira. 2017. Environmental factors influencing aggregation of manta rays (*Manta birostris*) off the northeastern coast of the Yucatan Peninsula. *Mar. Ecol.*, 38(3): 1–9. <https://doi.org/10.1111/maec.12432>
- Hearn, A., J.T. Ketchum, A.P. Klimley, E. Espinoza & C. Peñaherrera. 2010. Hotspots

- within hotspots? Hammerhead shark movements around Wolf Island, Galapagos Marine Reserve. *Marine Biology*, 157: 1899–1915.
- Hearn, A. R., D. Acuña, J. T. Ketchum, C. Peñaherrera, J. Green, A. Marshall, M. Guerrero & G. Shillinger. 2014. Elasmobranchs of the Galapagos Marine Reserve.
- Hernández-Ramírez, H. B. 2004. Diagnóstico ambiental de Isla Cerralvo, B.C.S., México.
- Heupel, M. R. & R.E. Hueter. 2001. Use of an Automated Acoustic Telemetry System to Passively Track Juvenile Blacktip Shark Movements. 217–236. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1402-0_10
- Heupel, M. R., J. K. Carlson & C. A. Simpfendorfer. 2007. Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 337(Nmfs 2006): 287–297. <https://doi.org/10.3354/meps337287>
- Heupel, Michelle R., C.A. Simpfendorfer, A.B. Collins & J.P. Tyminski. 2006. Residency and movement patterns of bonnethead sharks, *Sphyrna tiburo*, in a large Florida estuary. *Environ. Biol. Fish.*, 76(1): 47–67. <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9007-6>
- Hijmans, R. J., E. Williams & C. Vennes. 2016. Geosphere: spherical trigonometry. R package version, 1(5).
- Homma, K., T. Maruyama, I.H. Ishihara & S. Uchida. 1997. Biology of the manta ray, *Manta birostris* Walbaum, in the Indo-Pacific. In: Séret B. y J.-Y. Sire, Proc. 5th Indo-Pac. Fish Conf., Nouméa. 209-216.
- Jacoby, D. M. P., E. J. Brooks, D. P. Croft & D. W. Sims. 2012. Developing a deeper understanding of animal movements and spatial dynamics through novel application of network analyses. *Methods Ecol. Evol.*, 3(3): 574–583. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00187.x>
- Jaine, F. R. A., L. I. E. Couturier, S. J. Weeks, K. A. Townsend, M. B. Bennett, K. Fiora & A. J. Richardson. 2012. When Giants Turn Up: Sighting Trends, Environmental Influences and Habitat Use of the Manta Ray *Manta alfredi* at a Coral Reef. *PLoS ONE*, 7(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046170>
- Jiménez-Pérez, L. C., M. C. Cortés-Lara & A. L. Cupul-Magaña. 2013. Parches del zooplancton asociados con dos florecimientos algales nocivos en Bahía de Banderas. *Hidrobiologica*, 23(2): 176–186.
- Kashiwagi, T., A. D. Marshall, M. B. Bennett & J. R. Ovenden. 2011. Habitat segregation and mosaic sympatry of the two species of manta ray in the Indian and Pacific Oceans: *Manta alfredi* and *M. birostris*. *Marine Biodiversity Records*, 4: 1–8. <https://doi.org/10.1017/S1755267211000479>
- Kessel, S. T., S. J. Cooke, M. R. Heupel, N. E. Hussey, C. A. Simpfendorfer, S. Vagle & A. T. Fisk. 2014. A review of detection range testing in aquatic passive acoustic telemetry studies. *Rev. Fish Biol. Fisher.*, 24(1): 199–218. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9328-4>

- Klimley, A.P. & D.R. Nelson. 1981. Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 79(2): 356–360.
- Klimley, A.P. & D.R. Nelson. 1984. Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: a refuging central-position social system. *Behavioral Ecology Sociobiology*, 15: 45–54. in the gulf of California. *J Fish Biol* 33:751–761.
- Klimley, A.P., S.B. Butler, D.R. Nelson & A.T. Stull. 1988. Diel movements of scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini* Griffith and Smith, 18, to and from a seamount in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology*, 33 (5): 751–761.
- Klimley, A.P. 1993. Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance, temperature, bathymetry, and geomagnetic field. *Marine Biology*, 117: 1–22.
- Ketchum, J.T., A. Hearn, A.P. Klimley, C. Peñaherrera, E. Espinoza, S. Bessudo, G. Soler & R. Arauz. 2014a. Inter-island movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) and seasonal connectivity in a marine protected area of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Biology*, 161: 939–951.
- Kirk, C. 2019. The effectiveness of large-scale marine protected areas in Australia: Case studies, criticisms and controversies. MSc Thesis. University College Dublin.
- Kumli, K. R. & R.D. Rubin. 2011. Photo-Identification of the Manta Ray, *Manta birostris*, in the Revillagigedos Islands, Mexico.
- Lara-Lizardi, F. 2017. Range expansion of the whitenose shark, *Nasolamia velox*, and migratory movements to the oceanic Revillagigedo Archipelago (west Mexico). 1–5. <https://doi.org/10.1017/S0025315417000108>
- Lara-Lizardi, F. 2018. Distribution Patterns of Sharks in the Revillagigedo Archipelago and Their Connectivity in the Eastern Tropical Pacific. Tesis de Maestria. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional 172p.
- Lara-Lizardi, F., M. Hoyos-Padilla, A. Hearn, A. P. Klimley, F. Galván-Magaña, R. Arauz, S. Bessudo, E. Castro, E. Clua, E. Espinoza, C. Fischer, C. Peñaherrera-Palma, T. Steiner & J.T. Ketchum. 2020. Shark movements in the Revillagigedo Archipelago and connectivity with the Eastern Tropical Pacific. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.03.02.972844>
- Lea, J. S. E., N. E. Humphries, R. G. von Brandis, C. R. Clarke & D. W. Sims. 2016. Acoustic telemetry and network analysis reveal the space use of multiple reef predators and enhance marine protected area design. *P. Roy. Soc. B-Biol. Sci.*, 283(1834). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0717>
- Luiz, O. J., A. P. Balboni, G. Kodja, M. Andrade & H. Marum. 2009. Seasonal occurrences of *Manta birostris* (Chondrichthyes: Mobulidae) in southeastern Brazil. *Ichthyol. Res.*, 56(1): 96–99. <https://doi.org/10.1007/s10228-008-0060-3>
- Lund, U., C. Agostinelli, H. Arai, A. Gagliardi, E. Garcia-Portuges, D. Giunchi, J.O. Irisson, M. Pocerlich & F. Rotolo. 2017. R package “circular”: Circular Statistics

- (version 0.4-93). *R Package*. <https://www.topsoe.com/processes/sng>
- Lynam, R. 2012. The impacts of tourism on a population of manta rays, Baa Atoll, Republic of Maldives. MSc Thesis for University of York. Unpublished data.
- Marshall, A. D., M. B. Bennett, G. Kodja, S. Hinojosa-Alvarez, F. Galvan-Magana, M. Harding, G. Stevens, T. Kashiwagi. 2018. *Mobula birostris*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T160549A839048.en>
- Marshall, A.D. & M.B. Bennett. 2010. Reproductive ecology of the reef manta ray *Manta alfredi* in southern Mozambique. *J. Fish Biol.*, 77(1): 169–190. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02669.x>
- Marshall, A. D., C.L. Dudgeon & M.B. Bennett. 2011. Size and structure of a photographically identified population of manta rays *Manta alfredi* in southern Mozambique. *Mar. Biol.*, 158(5): 1111–1124. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1634-6>
- Marshall, A. D. & S.J. Pierce. 2012. The use and abuse of photographic identification in sharks and rays. *J. Fish Biol.*, 80(5): 1361–1379. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03244.x>
- Marshall, A. D., T. Kashiwagi, M. B. Bennett, M. Deakos, G. Stevens, F. McGregor, T. Clark, H. Ishihara & K. Sato. 2011. Reef Manta Ray (*Manta alfredi*). The IUCN Red List of Threatened Species 2016, 8235, 1. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-2.RLTS.T195459A8969079.en>
- Marshall, A. D., L. J. V. Compagno & M. B. Bennett. 2009. Redescription of the genus *Manta* with resurrection of *Manta alfredi*. *Zootaxa*, 2301: 1–28. <https://doi.org/10.5281/zenodo.191734>
- Marshall, A.D. 2008. Biology and Population Ecology of *Manta birostris* in Southern Mozambique (Issue April). University of Queensland. 278 pp.
- Martínez-Urrea, D. 2015. Influencia de factores ambientales sobre la distribución de la manta gigante (*Manta birostris*) en Holbox, Quintana Roo. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. México. 75 p.
- McCauley, D. J., P. A. DeSalles, H. S. Young, Y. P. Papastamatiou, J. E. Caselle, M.H. Deakos, J. P. A. Gardner, D. W. Garton, J. D. Collen & F. Micheli. 2014. Reliance of mobile species on sensitive habitats: A case study of manta rays (*Manta alfredi*) and lagoons. *Mar. Biol.*, 161(9): 1987–1998. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2478-7>
- Medeiros, A. M., O. J. Luiz & C. Domit. 2015. Occurrence and use of an estuarine habitat by giant manta ray *Manta birostris*. *J. Fish Biol.*, 86(6): 1830–1838. <https://doi.org/10.1111/jfb.12667>
- Moncayo-Estrada, R., J. L. Castro-Aguirre & J. De La Cruz-Agüero. 2006. Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de Banderas, México. *Rev. Mex. Biodivers.*,

77: 67–80.

- Mundy-Taylor, V. & V. Crook. 2013. Into the Deep : Implementing Commercially-Valuable Sharks and Manta Rays, In: *Traffic*.
- Nalesso, E., A. Hearn, O. Sosa-Nishizaki, T. Steiner, A. Antoniou, A. Reid, S. Bessudo, G. Soler, A. Peter Klimley, F. Lara, J. T. Ketchum & R. Arauz. 2019. Movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) at Cocos Island, Costa Rica and between oceanic islands in the Eastern Tropical Pacific. *PLoS ONE*, 14(3): 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213741>
- Nathan, R., W. M. Getz, E., Revilla, M. Holyoak, R. Kadmon, D. Saltz & P. E. Smouse. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research, 19052–19059, In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 105, Issue 49). <https://doi.org/10.1073/pnas.0800375105>
- Needham, M.D., B.W. Szuster, C. Mora, L. Lesar & E. Anders. 2017. Manta ray tourism: interpersonal and social values conflicts, sanctions, and management. *J. Sustain. Tour.* 25(10): 1367–1384. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1274319>
- O'Malley, M.P., K. Lee-Brooks & H.B. Medd. 2013. The Global Economic Impact of Manta Ray Watching Tourism. *PLoS ONE* 8(5): e65051. doi:10.1371/journal.pone.0065051
- Peel, L. R., R. Daly, C. A. Keating Daly, G. M. W. Stevens, S. P. Collin & M. G. Meekan. 2019. Stable isotope analyses reveal unique trophic role of reef manta rays (*Mobula alfredi*) at a remote coral reef. *Roy. Soc. Open Sci.*, 6(9). <https://doi.org/10.1098/rsos.190599>
- Peel L. R., G. M. W. Stevens, R. Daly, C. A. K. Daly, J. S. E. Lea, C. R. Clarke, S. P. Collin & M. G. Meekan. 2019a. Movement and residency patterns of reef manta rays *Mobula alfredi* in the Amirante Islands, Seychelles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 621: 169–184.
- Peel, L. R., G. M. W. Stevens, R. Daly, C. A. K. Daly, S. P. Collin, J. Nogués & M. G. Meekan. 2020. *Regional Movements of Reef Manta Rays (Mobula alfredi) in Seychelles Waters.* 7(July): 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00558>
- Pelamatti, T. 2019. Plastic Pollution As a Potential Threat for Oceanic Manta Rays in the Mexican Pacific Ocean. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 172p.
- Plata, L. & A. Filonov. 2007. Marea interna en la parte noroeste de la Bahía de Banderas, México. *Cien. Pes.*, 33(2): 197–215.
- Preciado-González, P. A. 2018. Distribución y abundancia de *Manta birostris* (Walbaum, 1792) en el Archipiélago de Revillagigedo durante el año 2016. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 64 p. <http://biblio.uabcs.mx/tesis/te3953.pdf>
- Reubens, J. T., F. Pasotti, S. Degraer & M. Vincx. 2013. Residency, site fidelity and habitat use of atlantic cod (*Gadus morhua*) at an offshore wind farm using acoustic telemetry. *Mar. Environ. Res.*, 90: 128–135.

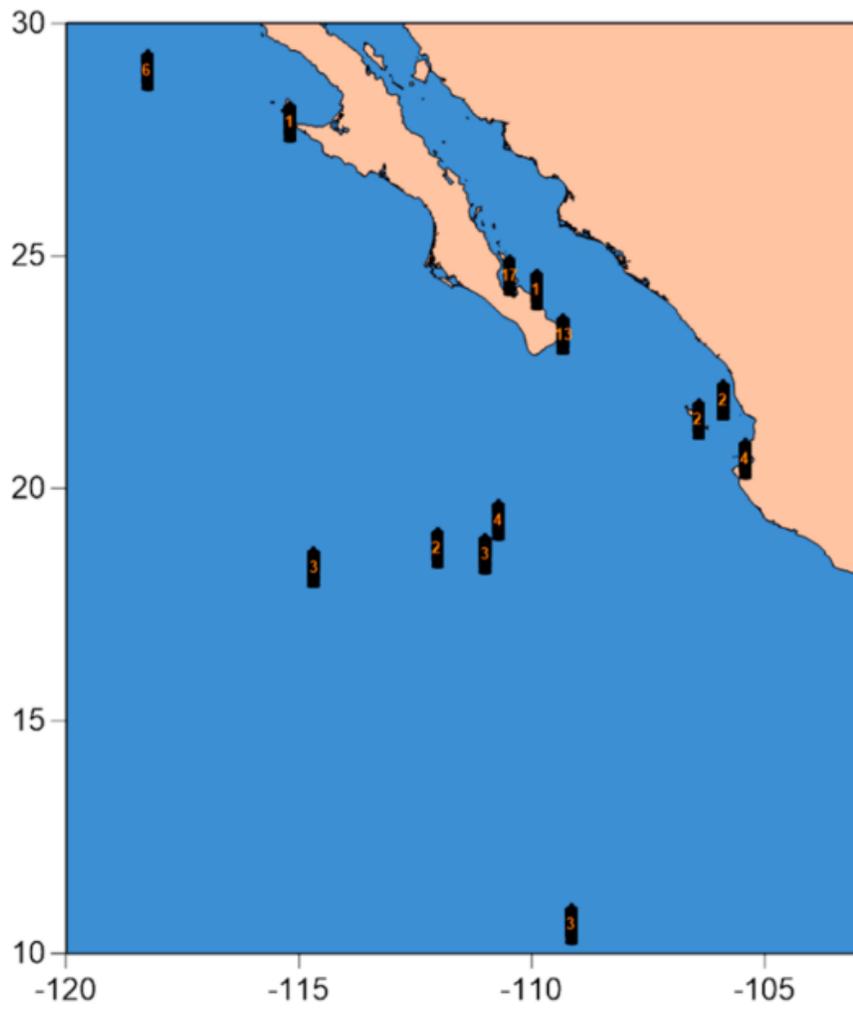
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.07.001>

- Richards, A. F., & B. H. Brattstrom. 1959. Bibliography, cartography, discovery, and exploration of the Isla Revillagigedo. *Proc. Calif. Acad. Sci.*, 4(29): 315–336.
- Roden, G. I. 1958. *Oceanographic and Meteorological Aspects of the Gulf of California*. 21–45.
- Roden, G. I. 1972. Thermohaline Structure and Baroclinic Flow Across the Gulf of California Entrance and in the Revilla Gigedo Islands Region. *J. Phys. Oceanogr.*, 2(2): 177–183. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1972\)002<0177:tsabfa>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1972)002<0177:tsabfa>2.0.co;2)
- Rohner, C. A., S. J. Pierce, A. D. Marshall, S. J. Weeks, M. B. Bennett & A. J. Richardson. 2013. Trends in sightings and environmental influences on a coastal aggregation of manta rays and whale sharks. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 482: 153–168. <https://doi.org/10.3354/meps10290>
- Rohner, C. A., K. B. Burgess, J. M. Rambahinirison, J. D. Stewart, A. Ponzio & A. J. Richardson. 2017. Mobulid rays feed on euphausiids in the Bohol Sea. *Roy. Soc. Open Sci.*, 4(5): 161160. <https://doi.org/10.1098/rsos.161060>
- Rubin, R. 2002. Manta Rays: not all black and white. *Shark Focus*, 15(15): 4–5.
- Rubin, R., K. R. Kumli, F. Galvan-Magaña & E. M. Hoyos-Padilla. 2010. Distribution, movements and habitat preference of the manta ray: *Manta birostris*, at the Revillagigedo Islands of Mexico. In: *2010 Progress Report* (Issue Rubin 2002). <https://pacificmantaresearchgroup.shutterfly.com/>
- Ruiz-Sakamoto, A. 2015. Estimación del valor económico total y catálogo de foto identificación de la manta gigante (*manta birostris* Walbaum, 1792) en el Archipiélago Revillagigedo. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 46p.
- Ruiz-Sakamoto, A. T. 2018. Movimientos y nivel de residencia de la manta gigante, *Mobula birostris* en Bahía de Banderas, México. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 49p.
- Saad-Navarro, G., F. Lara-Lizardi, E. M. Hoyos-Padilla, B. I. González-Garza, P. Ruffo-Ruffo, J. T. Ketchum-Mejía, E. J. Higuera-Rivas, A. Ayala-Bocos, D. Ramírez-Macias, N. L. Meza-Serano, I. González-López, R. D. Preciado-Carrillo & P. Ahuja. 2020. Manual de buenas prácticas de interacción con las mantas gigantes de La Reina. *Manta Pacífico*. 28pp.
- Sequeira, A. M. M., M. R. Heupel, M. A. Lea, V. M. Eguíluz, C. M. Duarte, M. G. Meekan, M. Thums, H. J. Calich, R. H. Carmichael, D. P. Costa, L. C. Ferreira, J. Fernández-Gracia, R. Harcourt, A. L. Harrison, I. Jonsen, C. R. McMahon, D. W. Sims, R. P. Wilson & G. C. Hays. 2019. The importance of sample size in marine megafauna tagging studies. *Ecol. Appl.*, 29(6): 1–17. <https://doi.org/10.1002/eap.1947>
- Setyawan, E., A. B. Sianipar, M. V. Erdmann, A. M. Fischer, J. A. Haddy, C. S. Beale,

- S. A. Lewis & R. Mambrasar. 2018. Site fidelity and movement patterns of reef manta rays (*Mobula alfredi*: Mobulidae) using passive acoustic telemetry in northern raja Ampat, Indonesia. *Nat. Conserv. Res.* 3(4): 17–31. <https://doi.org/10.24189/ncr.2018.043>
- Smith, W. D., J. J. Bizzarro & G. M. Cailliet. 2009. The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations La pesca artesanal de elasmobranquios en la costa oriental de Baja California, México: *Características y consideraciones.*, 35: 209–236.
- Soto-Mardones, L., S. G. Marinone & A. Parés-Sierra. 1999. Time and spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California. *Cienc. Mar.*, 25(1), 1–30. <https://doi.org/10.7773/cm.v25i1.658>
- Stewart, J. D., C. S. Beale, D. Fernando, A. B. Sianipar, R. S. Burton, B. X. Semmens & O. Aburto-oropeza. 2016. Spatial ecology and conservation of *Manta birostris* in the Indo-Pacific. *BIOC*, 200: 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.016>
- Stewart, J. D., E. M. Hoyos-Padilla, K. R. Kumli & R. D. Rubin. 2016a. Deep-water feeding and behavioral plasticity in *Manta birostris* revealed by archival tags and submersible observations. *Zool.*, 119(5): 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2016.05.010>
- Stewart, J. D., F. R. A. Jaine, A. J. A. Armstrong, A. J. A. O. Armstrong, M. B. Bennett, K. B. Burgess, L. I. E. Couturier, D. A. Croll, M. R. Cronin, M. H. Deakos, C. L. Dudgeon, D. Fernando, N. Froman, E. S. Germanov, M. A. Hall, S. Hinojosa-Alvarez, J. E. Hosegood, T. Kashiwagi, B. J. L. Laglbauer & G. M. W. Stevens. 2018a. Research priorities to support effective Manta and Devil Ray conservation. *Front. Mar. Scie.*, 5(9): 1–27. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00314>
- Stewart, J. D., M. Nuttall, E. L. Hickerson & M. A. Johnston. 2018. Important juvenile manta ray habitat at Flower Garden Banks National Marine Sanctuary in the northwestern Gulf of Mexico. *Mar. Biol.*, 165(7): 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3364-5>
- Stewart, J. D., Smith, T. R., Marshall, G., Abernathy, K., Fonseca-Ponce, I. A., Froman, N., & Stevens, G. M. W. 2019. Novel applications of animal-borne Crittercams reveal thermocline feeding in two species of manta ray. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 632, 145–158. <https://doi.org/10.3354/meps13148>
- Switzer, P. V. 1993. Site fidelity in predictable and unpredictable habitats. *Evol. Ecol.*, 7(6): 533–555. <https://doi.org/10.1007/BF01237820>
- Trasviña-Castro, A., G. Gutierrez De Velasco, A. Valle-Levinson, R. González-Armas, A. Muhlia & M. A. Cosío. 2003. Hydrographic observations of the flow in the vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 57(1–2):, 149–162. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00338-4](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00338-4)
- Udyawer, V., R. G. Dwyer, X. Hoenner, R. C. Babcock, S. Brodie, H. A. Campbell, R. G. Harcourt, C. Huveneers, F. R. A. Jaine, C. A. Simpfendorfer, M. D. Taylor & M. R.

- Heupel. 2018. A standardised framework for analysing animal detections from automated tracking arrays. *Anim. Biotel.*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40317-018-0162-2>
- van Duinkerken, D. I. 2010. Movements and site fidelity of the reef manta ray, *Manta alfredi*, along the coast of southern Mozambique. Utrecht University, Utrecht, Netherlands.
- Venables, S. K., A. D. Marshall, E. S. Germanov, R. J. Y. Perryman, R. F. Tapilatu, I. Gede Hendrawan, A. L. Flam, M. Van Keulen, J. L. Tomkins & W. Jason Kennington. 2019. It's not all black and white: Investigating colour polymorphism in manta rays across Indo-Pacific populations. *Proc. Roy. Soc.y B: Biol. Sci.*, 286(1912). <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1879>
- Vianna, G. M. S., M. G. Meekan, T. H. Bornovski & J.J. Meeuwig. 2014. Acoustic telemetry validates a citizen science approach for monitoring sharks on coral reefs. *PLoS ONE*, 9(4): 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095565>
- Voegeli, F. A., Smale, M. J., Webber, D. M., Andrade, Y., & R. K. O'dor. 2001. Ultrasonic telemetry, tracking and automated monitoring technology for sharks. *Environmental Biology of Fishes*, 60(1), 267-282.
- Walter, R. P., S. T. Kessel, N. Alhasan, A. T. Fisk, D. D. Heath, T. Chekchak, R. Klaus, M. Younis, G. Hill, B. Jones, C. D. Braun, M. L. Berumen, J.D. DiBattista, M. A. Priest & N. E. Hussey. 2014. First record of living *Manta alfredi* × *Manta birostris* hybrid. *Mar. Bio.*, 44(1), 1–2. <https://doi.org/10.1007/s12526-013-0183-2>
- White, W.T., J. Giles, Dharmadi & I.C. Potter. 2006. Data on the bycatch fishery and reproductive biology of mobulid rays (Myliobatiformes) in Indonesia. *Fish. Res.*, 82(1–3): 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.08.008>
- Yano, K., F. Sato & T. Takahashi. 1999. Observations of mating behavior of the manta ray, *Manta birostris*, at the Ogasawara Islands, Japan. *Ichthyol. Res.*, 46(3): 289–296. <https://doi.org/10.1007/BF02678515>

ANEXO 1



ANEXO 2



Patrones de pigmentación únicos de la parte ventral de las 25 mantas gigantes identificadas en La Reina durante 2018-2020.