



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

PATRONES DE MOVIMIENTO Y USO DEL HABITAT DEL  
TIBURON PUNTA PLATEADA (*Carcharhinus albimarginatus*)  
EN EL ARCHIPIELAGO DE REVILLAGIGEDO.

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctora en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

**Sarah Mathilde Salomé Beauvais**

La Paz, Baja California Sur, febrero de 2024.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 12 del Mes de febrero del 2024, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

### "PATRONES DE MOVIMIENTO Y USO DEL HABITAT DEL TIBURON PUNTA PLATEADA (*Carcharhinus albimarginatus*) EN EL ARCHIPIELAGO DE REVILLAGIGEDO"

Presentada por el alumno:

**Sarah Mathilde Salomé Beauvais**

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biología Marina**.

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.


#### LA COMISIÓN REVISORA



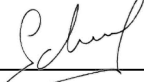
Dr. Raúl Octavio Martínez-Rincón  
Co-director de tesis



Dr. Mauricio Hoyos-Padilla  
Co-director de tesis



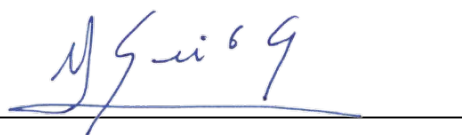
Dr. Salvador Emilio Lluch-Cota  
Co-tutor de tesis



Dr. Gauthier Schaal  
Co-tutor de tesis



Dr. James Thomas Ketchum  
Co-tutor de tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

La Paz, Baja California Sur, a 13 de febrero de 2024.

Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante Sarah Mathilde Salomé Beauvais del Programa de Doctorado en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:  
iThenticate
- Filtros utilizados:  
Citas excluidas  
Bibliografía excluida
- Porcentajes de similitud:  
12% de similitud  
Se muestra captura de pantalla



		Citas excluidas	12%
		Bibliografía excluida	SIMILAR
Resumen de Coincidencias			
1	Internet 328 palabras Copiado el 17-Oct-2022 <a href="http://cibnor.repositorioinstitucional.mx">cibnor.repositorioinstitucional.mx</a>		2%
2	Internet 296 palabras Copiado el 25-Sep-2022 <a href="http://repositoriodigital.ipn.mx">repositoriodigital.ipn.mx</a>		2%
3	Internet 72 palabras Copiado el 15-Sep-2021 <a href="http://s6250e2cbcd1c88c4.jimcontent.com">s6250e2cbcd1c88c4.jimcontent.com</a>		<1%
4	Internet 65 palabras Copiado el 13-Dic-2020 <a href="http://simec.conanp.gob.mx">simec.conanp.gob.mx</a>		<1%
5	Internet 42 palabras Copiado el 12-Ago-2021 <a href="http://dspace.uclv.edu.cu">dspace.uclv.edu.cu</a>		<1%
6	Internet 41 palabras Copiado el 22-Nov-2022 <a href="http://repositorio.una.ac.cr">repositorio.una.ac.cr</a>		<1%
7	Internet 41 palabras Copiado el 13-Sep-2022		<1%

**Firmas del Comité**




---

Dr. Raúl Octavio Martínez-Rincón

Hoyos Padilla Mauricio

---

Dr. Mauricio Hoyos-Padilla




---

Dr. Salvador Emilio Lluch-Cota




---

Dr. Gauthier Schaal




---

Dr. James Thomas Ketchum

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.  
Co-Director de Tesis

Dr. Mauricio Hoyos Padilla  
Pelagios-Kakunjá  
Co-Director de Tesis

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.  
Co-Tutor de Tesis

Dr. Gauthier Schaal  
Université de Bretagne Occidentale  
Co-Tutor de Tesis

Dr. James Thomas Ketchum  
Pelagios-Kakunjá  
Co-Tutor de Tesis

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón  
Dr. Mauricio Hoyos Padilla  
Dr. Salvador Emilio Lluch Cota  
Dr. Gauthier Schaal  
Dr. James Thomas Ketchum

### **Jurado de examen**

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón  
Dr. Mauricio Hoyos Padilla  
Dr. Salvador Emilio Lluch Cota  
Dr. Gauthier Schaal  
Dr. James Thomas Ketchum

### **Suplentes**

Dr. Víctor Manuel Muro Torres  
Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez

## Resumen

El tiburón punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*) es un tiburón asociado a los arrecifes y ampliamente distribuido por el Indo-Pacífico. Sin embargo, ha sido poco estudiado y se sabe poco sobre su ecología espacial, particularmente sobre viajes de larga distancia. En este estudio se describe la residencia y patrones de movimiento de los tiburones punta plateada en el Archipiélago de Revillagigedo. En total se marcaron 45 tiburones con transmisores V16 y V16P y se colocaron 10 receptores VR2W en el periodo 2010 - 2017 en diferentes localidades del archipiélago. 40 tiburones fueron detectados durante el estudio, de los cuales 34 fueron detectados más del 70 % del tiempo en un sitio en particular. El índice de residencia osciló entre 0.049 y 0.99 con media de 0.49, sugiriendo una alta variabilidad en la residencia de esta especie en el área de estudio. 11 individuos (7 hembras adultas) fueron detectados en más de una isla, sugiriendo que viajaron distancias que oscilaban entre 60 y 425 km. Cinco tiburones que fueron marcados siendo juveniles, abandonaron su isla de marcaje una vez que alcanzaron la edad adulta, tres machos de entre 8 y 10 años y dos hembras de 11 años. La mayoría de los viajes de larga distancia entre islas fueron realizados por hembras sexualmente maduras. El análisis del efecto de la variabilidad ambiental sobre la residencia de estos tiburones en el archipiélago sugiere que la temperatura y la producción primaria pueden influir en la selección de hábitat de los tiburones juveniles puntas plateadas.

**Palabras clave:** Telemetría acústica, Comportamiento, Residencia, Área marina protegida, Tiburón punta plateada.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1934-7185>

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón



Dr. Mauricio Hoyos-Padilla

## Summary

The silvertip shark (*Carcharhinus albimarginatus*) is a reef-associated shark widely distributed across the Indo-Pacific. However, it has been poorly studied and little is known about its spatial ecology, particularly about long-range travel. In this study, we investigated the residency and movement patterns of silvertip sharks in the Revillagigedo Archipelago. Forty-five sharks in total were tagged with V16 and V16P transmitters and 10 VR2W receivers were deployed around the archipelago during the period 2010 - 2017. Among the 40 sharks detected during the study, 34 were detected more than 70 % of the time in one site. The residency index ranged from 0.049 to 0.99 with a mean residency of 0.49, suggesting high variability in residency for this species in the study area. Eleven individuals (7 adult females) were detected in more than one island, suggesting they traveled distances ranging from 60 to 425 km. Five sharks tagged as juveniles left their tagging island once they had reached adulthood, three males between 8 and 10 yr. old and two females at 11 yr. old. Most long-distance travels between islands were carried out by sexually mature females. The analysis of the environmental variability effect on the residency of these sharks in the archipelago suggested that temperature and primary production can influence the habitat selection of juvenile silvertip sharks.

**Keywords:** Acoustic telemetry, Behavior, Residency, Marine protected area, Silvertip shark.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1934-7185>

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis



Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón



Dr. Mauricio Hoyos-Padilla

**Dedicatoria**

Cette thèse est dédiée à Erwan Ar Gall, mentor précieux parti trop tôt. J'aurais aimé que tu puisses la voir terminée.

## **Agradecimientos**

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos y al CONAHCYT por su apoyo institucional y financiero con número de CVU 1014689 que me permitió llevar a cabo este proyecto.

A mi Co-Director de Tesis el Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón por estar conmigo desde el principio, apoyarme a lo largo de esta tesis y ayudarme a encontrar este tema de investigación cuando las circunstancias por el COVID me obligaron a cambiarlo.

A mi Co-Director de Tesis el Dr. Mauricio Hoyos Padilla por aceptarme en este proyecto, por su seguimiento y su pasión por el estudio y la protección de los tiburones.

Al Dr. James Ketchum por compartir conmigo su conocimiento y ayudarme mucho con la corrección de mi artículo en inglés.

A los miembros de mi Comité Tutorial, Dr. Gauthier Schaal, Dr. Salvador Emilio Lluch Cota y Dra. Tatiana Acosta Pachón por seguirme en este proyecto y brindarme sus consejos.

A mi ex Director el Dr. Diego Páez Rosas, si bien mi primer tema de tesis no pudo completarse por razones ajenas a nuestra voluntad, no olvido su bienvenida dentro del archipiélago de Galápagos y el hecho de que me permitió continuar mi tesis con un nuevo tema.

A mis amigos Laure, Rodrigo, Benoît y todos los demás amigos de l'Aigle por su buen humor y su apoyo.

A toda mi Familia y en especial a mis Padres por su apoyo incondicional durante todo este proyecto. Os quiero.



## Contenido

<b>Resumen</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Contenido</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	vii
<b>Lista de tablas</b> .....	ix
<b>Abreviaturas</b> .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	6
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	7
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	8
5.1 Objetivo general .....	8
5.2 Objetivos particulares .....	8
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	9
6.1 Área de estudio .....	9
6.1.1 Isla Socorro .....	11
6.1.2 Isla San Benedicto .....	11
6.1.3 Islote Roca Partida .....	12
6.1.4 Isla Clarión .....	12
6.2 Especie estudiada .....	13
6.3 Marcado de individuos .....	14
6.4 Análisis de datos .....	16
6.4.1 Determinación de la edad .....	16
6.4.2 Número de días monitoreados .....	16
6.4.3 Residencia .....	17
6.4.4 Movimientos diurnos y nocturnos .....	17
6.4.5 Movimientos verticales .....	18
6.4.6 Movimientos horizontales .....	18
6.4.7 Preferencias ambientales .....	19
<b>7. RESULTADOS</b> .....	21
7.1 Marcado de individuos .....	21
7.2 Detecciones ultrasónicas .....	23
7.3 Residencia .....	25
7.4 Movimientos diurnos y nocturnos .....	27
7.5 Movimientos verticales .....	28
7.6 Movimientos horizontales .....	30
7.6.1 Movimientos de baja a mediana escala: intrainsulares .....	30
7.6.2 Movimientos de mediana a gran escala: interinsulares .....	33
7.7 Preferencias ambientales .....	36
7.7.1 Modelos MAG .....	36
7.7.2 Eventos de huracanes .....	39
<b>8. DISCUSIÓN</b> .....	42
8.1 Escala del estudio .....	42

	vi
8.2 Tiempo sin detección.....	42
8.3 Residencia.....	43
8.4 Variaciones ontogénicas.....	43
8.5 Movimientos diurnos.....	44
8.6 Movimientos verticales .....	45
8.7 Movimientos interinsulares.....	46
8.8 Preferencias ambientales .....	47
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>10. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>49</b>
<b>11. ANEXOS</b> .....	<b>55</b>
Anexo A.-Figura A1. Gráficos de detecciones individuales de los 22 tiburones punta plateada juveniles detectados en el Archipiélago de Revillagigedo. ....	55
Anexo B.-Figura A2. Gráficos de detecciones individuales de los 10 tiburones punta plateada en transición de juvenil a adulto detectados en el Archipiélago de Revillagigedo.....	56
Anexo C.-Figura A3. Gráficos de detecciones individuales de los 8 tiburones punta plateada adultos detectados en el Archipiélago de Revillagigedo.....	56
Anexo D.-Artículo Aceptado: Movement patterns and residency of silvertip sharks ( <i>Carcharhinus albimarginatus</i> ) in a remote archipelago of the Eastern Tropical Pacific. ..	57
Anexo E.-Artículo Sometido: The Biology and ecology of the silvertip shark, <i>Carcharhinus albimarginatus</i> .....	95

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del Archipiélago de Revillagigedo. El recuadro verde representa el polígono de protección actual del Parque Nacional.....	9
<b>Figura 2.</b> Isla Socorro.....	11
<b>Figura 3.</b> Isla San Benedicto .....	12
<b>Figura 4.</b> Islote Roca Partida .....	12
<b>Figura 5.</b> Isla Clarión.....	13
<b>Figura 6.</b> Ubicación de los receptores (estaciones) en el área de estudio. El rectángulo rojo corresponde al área ampliada y a los límites del Parque Nacional Revillagigedo (RNP). El círculo verde representa el alcance medio de los receptores. ....	15
<b>Figura 7.</b> Detecciones de tiburones punta plateada grabadas para todas las estaciones del Archipiélago de Revillagigedo. Las detecciones grabadas se representan en diferentes colores correspondientes a la isla donde se encuentra la estación. Los períodos de tiempo con un receptor funcional presente en el sitio, pero sin detecciones, están en gris oscuro. .	23
<b>Figura 8.</b> Gráfico de presencia de los tiburones punta plateada seguidos en el archipiélago de Revillagigedo. Los diferentes colores corresponden a las diferentes estaciones. Los triángulos representan la fecha y el sitio de marcaje. ....	24
<b>Figura 9.</b> Índice de residencia (IR).....	26
<b>Figura 10.</b> Uso del sitio (US) .....	26
<b>Figura 11.</b> Frecuencia de detección porcentual por lámina horaria antes (línea azul) y después de (línea roja) corrección con los datos de la baliza centinela (línea verde). El fondo más sombrío representa las horas de noche, sobre una media anual (19:00 – 07:00).....	27
<b>Figura 12.</b> Utilización horaria de la profundidad. Los puntos representan la media y las barras verticales la desviación estándar. El fondo más oscuro representa las horas de noche, sobre una media anual (19:00 – 07:00). ....	28
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de detecciones grabadas por intervalo de profundidad para el día (07:00 – 19:00) y la noche (19:00 – 07:00). ....	29
<b>Figura 14.</b> Influencia de los diferentes parámetros incluidos en el MAG sobre la utilización de la profundidad para los tiburones puntas plateadas en el archipiélago de Revillagigedo. ....	30
<b>Figura 15.</b> Gráficos individuales de los seis tiburones marcados como juveniles que se fueron de su isla de marcaje en la edad adulta.....	34
<b>Figura 16.</b> Gráficos individuales de las hembras adultas que han realizado viajes interinsulares.....	35
<b>Figura 17.</b> Análisis de redes de los movimientos realizados por tiburones puntas plateadas en el Archipiélago de Revillagigedo. El ancho de la línea corresponde al número de movimientos realizados y el color del punto corresponde a la isla donde está localizada la estación. El mapa representa las distancias reales que separan las islas. ....	36
<b>Figura 18.</b> Proporción de tiburones punta plateada detectados cada día dentro del Archipiélago de Revillagigedo. ....	37
<b>Figura 19.</b> Parámetros ambientales a escala del año durante el período de monitoreo del tiburón punta plateada dentro del Archipiélago de Revillagigedo.....	39
<b>Figura 20.</b> Presencia horaria de tiburones punta plateada alrededor de San Benedicto en julio de 2016. El panel inferior muestra los registros de profundidad de los 4 tiburones (ST17, ST23, ST24, ST27) equipados con transmisores V16P. La línea vertical discontinua representa la llegada a tierra de la tormenta tropical "Frank". ....	41

**Figura 21.** Presencia horaria de tiburones punta plateada alrededor de San Benedicto en junio de 2017. La línea vertical discontinua representa la llegada a tierra de la tormenta tropical “Dora”. ..... 41

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tiburones marcados en el Archipiélago de Revillagigedo.....	22
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de regresión estimados, errores estándar, valores z y valores p para el MLG de Poisson. * El intercepto representa el coeficiente para estas categorías: Hembra, Adulto y Externo.....	25
<b>Tabla 3.</b> Estación donde se registraron más detecciones para cada tiburón, reagrupados por estatus de madurez.....	27
<b>Tabla 4.</b> Recopilación de los resultados del MAG de la utilización de la profundidad para los tiburones puntas plateadas en el Archipiélago de Revillagigedo. ....	29
<b>Tabla 5.</b> Patrones de movimientos de los tiburones punta plateada seguidos en el archipiélago de Revillagigedo. Cuando un tiburón fue marcado como juvenil y alcanzó la edad adulta durante su tiempo de monitoreo se le denominó "en transición". ....	31
<b>Tabla 6.</b> Número total de movimientos grabados entre las estaciones de una misma isla ....	33
<b>Tabla 7.</b> Métricas del análisis de red de movimientos entre estaciones realizados por tiburones punta plateada en el Archipiélago de Revillagigedo. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Resultados del MAG sobre la influencia del ambiente en la probabilidad de detección del tiburón punta plateada dentro del Archipiélago de Revillagigedo. ....	38
<b>Tabla 9.</b> Eventos de huracanes cerca del Archipiélago de Revillagigedo. ....	40

## Abreviaturas

AIC <sub>c</sub> :	Criterio de Información de Akaike Corregido
AMP:	Área Marina Protegida
ANOVA:	Análisis de Varianza
BIOT:	Territorio Británico del Océano Indico
CONANP:	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
DE:	Desviación Estándar
GBC:	Gran Barrera de Coral
IACUC:	Comité Institucional de Cuidado y de Uso de Animales
IR:	Índice de Residencia
LT:	Longitud Total
MAG:	Modelo Aditivo Generalizado
MinDRa:	Distancia Mínima Recorrida Intraisular
MinDRe:	Distancia Mínima Recorrida Interisular
MLG:	Modelo Lineal Generalizado
NOAA:	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica
PNR:	Parque Nacional de Revillagigedo
OPOT:	Océano Pacífico Oriental Tropical
TSM:	Temperatura de la Superficie del Mar
UICN:	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
US:	Uso de sitio

## 1. INTRODUCCIÓN

Los grandes tiburones juegan un papel esencial en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos y su eliminación podría tener consecuencias ecológicas importantes como la liberación de poblaciones de presas mesopredadoras del control depredador y la inducción de cascadas de interacciones tróficas indirectas. Sin ellos, otros peces depredadores reducirían el número de herbívoros, lo que a su vez permitiría que las algas dominaran los arrecifes de coral (Stevens *et al.*, 2000; Heithaus *et al.*, 2008). Numerosas especies de tiburones están fuertemente amenazadas en el mundo y sus poblaciones presentan una disminución severa, sobre todo debido a la sobrepesca (Graham *et al.*, 2010; Dulvy *et al.*, 2014; Roff *et al.*, 2018). En años recientes se ha reconocido que el diseño de reservas o áreas marinas protegidas puede basarse en los movimientos de especies de gran importancia ecológica (Patterson *et al.*, 2008), en particular de los grandes depredadores, como los tiburones (Ketchum *et al.*, 2009; Ketchum, 2011). Por lo tanto, comprender las escalas temporales y espaciales de los movimientos de los tiburones es esencial para comprender el uso de hábitat, identificar los sitios clave ocupados por estas especies (Schneider, 1994) e implementar medidas de conservación eficientes (Royer *et al.*, 2005). Numerosos peces que son especies claves en su ambiente (ej. tiburones) presentan cambios ontogenéticos (relacionados con la edad, como la madurez sexual) en sus movimientos, su uso del hábitat, así como en su distribución vertical (Grubbs, 2010; Hoyos-Padilla *et al.*, 2014, 2016).

Las islas oceánicas aisladas se caracterizan generalmente por una gran biodiversidad y abundancia de especies marinas, incluyendo los tiburones (Mourier *et al.*, 2013; Ferretti *et al.*, 2018; Fourrière *et al.*, 2019), y son consideradas como sitios de interés biológicos (hotspots) de depredadores marinos (Hearn *et al.*, 2010). El Archipiélago de Revillagigedo está compuesto por tres islas volcánicas geográficamente aisladas (San Benedicto, Socorro y Clarión) y un islote (Roca Partida) que resguardan algunos de los ecosistemas marinos y terrestres mejor preservados en el mundo (CONANP, 2017). Alrededor de estas islas se pueden encontrar numerosas especies de megafauna marina (mamíferos marinos, tortugas marinas, mantas gigantes y tiburones). Desde 2017, el archipiélago es considerado como el Área Marina Protegida (AMP) más grande de América del Norte (Parque Nacional

Revillagigedo, PNR) con una superficie de 148,000 km<sup>2</sup>; además fue clasificada como patrimonio mundial de la humanidad en 2016 (UNESCO, 2021).

Los elasmobranquios (tiburones y rayas) son uno de los grupos más diversos de la comunidad de peces pelágicos del archipiélago (Llinas-Gutiérrez *et al.*, 1993). Un estudio reciente ha confirmado la presencia de veintiséis especies, de las cuales diecinueve son tiburones y siete son rayas (Becerril-García *et al.*, 2020). Estas islas están también conectadas a otras islas del Océano Pacífico Oriental Tropical (OPOT), como Clipperton y Galápagos (Ketchum *et al.*, 2020), indicando su gran importancia para numerosas especies de elasmobranquios migratorios (CONANP, 2017). Se han observado movimientos de especies como el tiburón Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*) y el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) entre estas islas en el OPOT (Ketchum *et al.*, 2020).

Entre las especies depredadoras presentes en el PNR, el tiburón punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*) es una de las especies de tiburones más abundantes y comunes del archipiélago (Lara-Lizardi *et al.*, 2018; Ketchum *et al.*, 2020; Le Croizier *et al.*, 2020). El nombre de especie *albimarginatus* viene del latín [alba] = blanco y [margin] = borde, porque presenta un borde blanco sobre sus aletas dorsales, anal, pélvica y caudal. Su nombre común, punta plateada, viene igualmente de este rasgo físico. Fuera de eso, el tiburón punta plateada puede ser reconocido de los miembros similares del género *Carcharhinus* por (1) la forma particular de la aleta caudal, asimétrica con una muesca bajo el lóbulo superior muy desarrollado; (2) una banda blanca discreta sobre el costado; (3) una nariz moderadamente larga y ampliamente redondeada con ojos redondos y cinco aberturas branquiales independientes a cada lado de la cabeza (Compagno y Fowler 2005). Es un gran tiburón con crecimiento lento que puede alcanzar un tamaño máximo de 3 m de longitud total (LT; Compagno y Fowler 2005). Los machos alcanzan la madurez sexual a los  $10.5 \pm 0.8$  años y las hembras a los  $14.8 \pm 1.3$  años (Smart *et al.*, 2017).

La especie se distribuye ampliamente en la zona tropical de los océanos Índico y Pacífico, pero presenta una distribución desigual y poblaciones fragmentadas debido a una dispersión mínima (Compagno y Fowler, 2005). Esta especie vive exclusivamente en islas (Le Croizier *et al.*, 2020) y puede igualmente distribuirse en los arrecifes coralinos insulares (Espinoza *et al.*, 2015a). En el OPOT se distribuye exclusivamente en islas oceánicas, como Revillagigedo,



Clipperton, Coco y Galápagos (Compagno y Fowler, 2005). Está sujeta a niveles elevados de captura incidental por diferentes pesquerías a lo largo de su distribución y es considerada como especie de lento crecimiento y baja resiliencia a la presión por pesca (Bond *et al.*, 2015). Esta especie ha sido clasificada como vulnerable por la UICN en 2015 debido a una disminución global de más de 30 % en tres generaciones (66 años). Esta disminución podría explicarse por la distribución irregular de la especie, su crecimiento lento y, sobre todo, por los altos niveles de captura incidental en las pesquerías en toda su área de distribución (Espinoza *et al.*, 2016). Actualmente no existe ninguna medida de conservación que apunte específicamente a esta especie (Espinoza *et al.*, 2021).

Para entender los patrones de distribución de grandes especies marinas, en las últimas décadas se han utilizado herramientas de teledetección, como es la telemetría acústica. Esta herramienta ha permitido describir detalladamente el movimiento migratorio de especies a diferentes escalas espaciotemporales (Voegeli *et al.*, 2001), gracias al marcado de individuos que se realizaron en diferentes localidades, así como la presencia de una red de receptores que detectan estos transmisores. Los datos de telemetría acústica y satelital en especies de tiburones han revelado esquemas de movimiento complejo, evidencia de migración parcial y conectividad del hábitat dentro y entre ecosistemas (Papastamatiou *et al.*, 2013; Ketchum *et al.*, 2014; Heupel *et al.*, 2015). El objetivo principal de este estudio es describir los patrones de movimiento, así como estimar la residencia e identificar el efecto de la variabilidad ambiental en la residencia de la especie en el archipiélago de Revillagigedo. Se espera que los resultados de esta investigación permitan generar información más adecuada para el manejo de la especie, así como para su conservación, tanto en el área natural protegida como en otras localidades donde se ha registrado su presencia.

## 2. ANTECEDENTES

El tiburón punta plateada se encuentra entre las especies de tiburones menos estudiadas históricamente (Last y Stevens, 2009; Barnett *et al.*, 2012). Esto se debe a que es una especie semi-pelágica que vive esencialmente en islas oceánicas y, por consiguiente, para poder estudiarlo es necesario realizar costosas expediciones hasta estas islas. Sin embargo, existen varios estudios que describen las poblaciones del Océano Indo-Pacífico (Gran Barrera de Coral GBC, Fiji, Papúa Nueva Guinea, Indonesia, Nueva Caledonia). Particularmente, el estudio de Espinoza *et al.* (2015b) es considerado como referencia sobre los movimientos de esta especie en la GBC y ha permitido demostrar que los tiburones son detectados mayoritariamente cerca del arrecife donde fueron marcados, pero que igualmente pueden desplazarse entre los arrecifes. Este estudio puso en evidencia variaciones temporales y estacionales, resaltando que la especie es menos abundante entre septiembre y febrero, lo que sugiere que los tiburones se encuentran en aguas más profundas durante las horas más calientes y se dedican a cazar durante el crepúsculo y la noche. Este estudio también sugiere que los tiburones prefieren ciertos hábitats del arrecife (e.g. las pendientes y las crestas). Otros estudios que corroboran estos dos últimos puntos son Rizzari *et al.* (2014) en la GBC y Bond *et al.* (2015) en Fiji, aunque en el último estudio solo siguieron a un individuo.

Entre 2013 y 2016 se desarrolló dentro del área marina protegida *British Indian Ocean Territory* (BIOT), ubicada en medio de Océano Índico, un programa de estudio de telemetría acústica centrada en particular en los tiburones punta plateada y gris de arrecife. Los estudios derivados de este programa mostraron que los tiburones punta plateada tenían mayor movilidad con alta variabilidad individual, espacios de actividad más grandes y menor residencia en el arrecife que los tiburones grises de arrecife, que tenían espacios de actividad pequeños (Carlisle *et al.*, 2019; Dunn *et al.*, 2023; Jacoby *et al.*, 2020; Williamson *et al.*, 2021). Estas características también harían que los tiburones puntas plateadas sean más susceptibles a la presión de la pesca ilegal (Jacoby *et al.*, 2020).

Un estudio a meso-escala (500 km) realizado por Bonnín *et al.* (2023) en Nueva Caledonia demostró una fuerte residencia, una mayor movilidad en individuos adultos comparada con los juveniles, así como una mayor movilidad estacional de los machos adultos.

Otros estudios en el Indo-Pacífico describen otros aspectos de la ecología de *Carcharhinus albimarginatus*. Por ejemplo, O'Shea *et al.* (2010) sugirió que la especie frecuenta las estaciones de limpieza (zonas donde otras especies pueden remover ectoparásitos) y que, aunque esta actividad dura poco tiempo, los individuos pueden quedarse mucho más tiempo en el sitio. El estudio de Green *et al.* (2019) permitió, mediante un estudio genético, poner de manifiesto una conectividad entre las poblaciones de Papúa Nueva Guinea y de Australia. Finalmente, los estudios de Stevens (1984), White (2007) y Smart *et al.* (2017) se concentraron en describir la velocidad de crecimiento y la edad de madurez sexual de la especie en el Océano Índico, en Indonesia y en Papúa Nueva Guinea, respectivamente. El estudio de Smart *et al.* (2017) es el más detallado y ha permitido mostrar que, en promedio, los machos de *C. albimarginatus* alcanzan su madurez sexual a los 10.5 años y las hembras a los 14.8 años. Sin embargo, otros estudios sugieren que pueden existir diferencias de velocidad de crecimiento entre poblaciones; por ejemplo, el de Stevens (1984) que sugiere que la madurez sexual de los machos se alcanza a los 170-180 cm de longitud total mientras que el de White (2007) lo estima a los 193-199 cm.

Otros estudios enfocados en la reproducción de *Carcharhinus albimarginatus*, mencionan que la gestación de la especie dura 12 meses (Compagno y Fowler, 2005; Last y Stevens, 2009), que las camadas pueden comprender de 1 a 11 individuos, pero generalmente 5 o 6 (Compagno y Fowler, 2005; White, 2007) y que la longitud total al nacimiento es de aproximadamente 700-800 mm (Bass, 1973; White, 2007).

En el Archipiélago de Revillagigedo, los únicos estudios publicados de la especie son el de Le Croizier *et al.* (2020) y el de Ketchum *et al.* (2020). Le Croizier *et al.* (2020) describe la ecología trófica y la exposición al mercurio de *C. albimarginatus* y concluye que la especie se alimenta tanto en el ambiente béntico como en el pelágico y que el mercurio presente en la zona no es de origen antrópico. El estudio de Ketchum *et al.* (2020), que utiliza el mismo conjunto de datos que esta tesis, describe un área de crianza de esta especie y concluye que es el primer estudio que presenta evidencia de la presencia de un área de crianza de *C. albimarginatus* en San Benedicto y que al alcanzar la madurez los tiburones migran hacia Roca Partida para alimentarse y reproducirse.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los tiburones juegan un papel esencial en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos, su eliminación podría tener consecuencias ecológicas muy importantes e irreparables como la liberación de poblaciones de presas mesopredadoras del control depredador y la inducción de cascadas de interacciones tróficas indirectas. Numerosas especies de tiburones están amenazadas fuertemente en el mundo y sus poblaciones han decaído severamente, sobre todo a causa de la sobrepesca (Espinoza *et al.*, 2021). En particular el tiburón punta plateada tiene una distribución extensa, aunque fragmentada, sobre toda la zona intertropical del Océano Indo-Pacífico. (Ebert *et al.*, 2013). No obstante, esta especie ha sido poco estudiada (Last y Stevens, 2009; Barnett *et al.*, 2012) y se sabe poco sobre sus de sus potenciales movimientos a gran escala. Está clasificada como vulnerable en la lista roja de la UICN, con poblaciones en decadencia principalmente por causa de la sobrepesca. En el archipiélago de Revillagigedo, los estudios de la biología, ecología y comportamiento de la especie son muy escasos, ya que a la fecha solamente se han realizado dos estudios, uno con muestras de la especie colectadas en el archipiélago.

Por todo lo anterior, este trabajo se enfoca a describir los movimientos del tiburón punta plateada a diferentes escalas temporales, así como su residencia y el efecto de la variabilidad ambiental en su residencia en el archipiélago de Revillagigedo. Los resultados que deriven de este trabajo enriquecerán los conocimientos de la biología, ecología y uso de hábitat de la especie en la zona de estudio, así como a nivel regional. Estos conocimientos podrían ser utilizados en el diseño de estrategias de manejo de la especie o especies similares para asegurar su conservación tanto en el área de estudio como fuera de la misma, así como para el diseño de nuevas áreas marina protegidas en otros lugares.

#### **4. HIPÓTESIS**

Basado en el comportamiento de otras especies de tamaño, longevidad y comportamientos similares al tiburón punta plateada, se espera observar diferentes esquemas de movimiento, principalmente asociado a su estado de madurez reproductiva. En este sentido, se espera que los individuos que alcanzaron su madurez sexual se muevan entre islas en ciertas épocas del año (movimientos interinsulares) y, por el contrario, que los individuos juveniles se queden más tiempo en una isla y no realicen movimientos interinsulares. También se espera que las condiciones ambientales presentes en una estación del año detonen los movimientos interinsulares de individuos adultos de la especie.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Describir los patrones de movimiento, estimar la residencia e identificar las preferencias ambientales que influyen en los movimientos de *C. albimarginatus* en el Archipiélago de Revillagigedo.

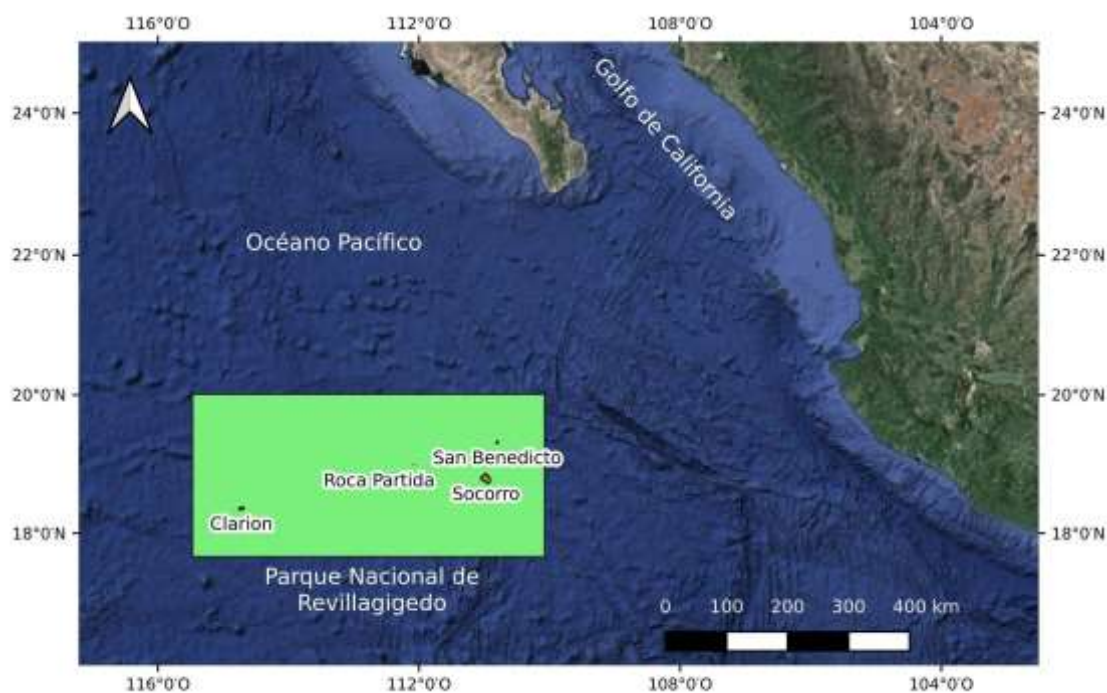
### 5.2 Objetivos particulares

1. Estimar y comparar el índice de residencia entre los tiburones, por estado de madurez y por sexo.
2. Determinar los movimientos diarios horizontales y verticales con ayuda de la telemetría acústica pasiva.
3. Determinar los movimientos intransulares horizontales a mediana escala.
4. Determinar los movimientos interinsulares horizontales a gran escala.
5. Evaluar el efecto de la variabilidad ambiental en la residencia de *C. albimarginatus* en el Archipiélago de Revillagigedo.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

La zona de estudio es el Archipiélago de Revillagigedo, localizado entre las coordenadas N  $17^{\circ} 39'19''$  y N  $20^{\circ}0'31''$ ; y W  $110^{\circ} 4'41''$  y W  $115^{\circ} 28'17''$ , a 430 km al suroeste de la punta de la península de Baja California, México (Fig. 1). Está compuesto por cuatro islas volcánicas oceánicas geográficamente aisladas: San Benedicto, Socorro, Roca Partida y Clarión. Estas islas fueron formadas por volcanes desde la zona de Fractura de Clarión, una zona de fractura submarina de 5,200 km de longitud, definida por la una de las numerosas fallas transformadoras que atraviesan la parte norte del Pacífico Este en el fondo del Océano Pacífico. Están ubicadas justo al oeste de la unión entre la dorsal del Pacífico Este, la Fosa Oceánica de Centro América y las placas Pacífico, Rivera y Cocos (Carballido-Sánchez, 1994). Se cree que emergieron entre el Plioceno y el final del Pleistoceno (Brattstrom, 1990).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del Archipiélago de Revillagigedo. El recuadro verde representa el polígono de protección actual del Parque Nacional.

Sobre las cuatro islas que componen el archipiélago, tres están relativamente cercanas entre ellas, separadas por distancias comprendidas entre 60 y 150 km y una profundidad entre 1000 y 5000 m. Estas islas se llaman Socorro, San Benedicto y Roca Partida. La cuarta isla, Clarión, está ubicada a 300 km al suroeste de Roca Partida (Ricker, 1959).

Las aguas que rodean el archipiélago son influenciadas principalmente por tres grandes corrientes. La corriente norecuatorial y la corriente costera de Costa Rica que acarrear masas de agua caliente y la corriente de California que trae aguas más frías (Castro-Aguirre y Balart, 2002; Fiedler y Talley, 2006). Las mareas son mixtas y semi-diurnas a lo largo del año. En promedio, el archipiélago es afectado por tres huracanes al año ([coast.noaa.gov/hurricanes](http://coast.noaa.gov/hurricanes)) y la temperatura de superficie del agua oscila entre 28°C y 29°C en verano y entre 22°C y 25°C en invierno. La zona es también afectada por El Niño-Oscilación del Sur (Fiedler y Talley, 2006), que tiene un impacto considerable sobre la distribución y la abundancia de la mayoría de las especies marinas presentes en la zona (Fourrière *et al.*, 2019). El clima de la región es árido y desértico, con precipitaciones anuales medias de 313.8 mm. (CONANP, 2017).

El archipiélago fue declarado reserva de biosfera en 1994 e inscrito a la lista del patrimonio mundial del UNESCO en 2015, debido a su gran biodiversidad y a las varias especies endémicas que resguarda. Además, desde 2017 resguarda el área marina protegida más grande de América del Norte, el Parque Nacional de Revillagigedo (PNR), que cubre una superficie de 148,088 km<sup>2</sup>. Este parque es una reserva donde está prohibida cualquier tipo de pesca. Sus límites han sido fijados gracias a estudios llevados sobre los movimientos y la conectividad de los peces y de los elasmobranquios (Ketchum *et al.*, 2020).

El archipiélago resguarda una alta biodiversidad marina, con la presencia de especies de peces del Océano Indo-Pacífico, de Panamá, del Golfo de California y del Pacífico mexicano. Se han registrado un total de 403 especies de peces, incluidas 26 de elasmobranquios (Del Moral-Flores *et al.*, 2016; Becerril-García *et al.*, 2020), de los cuales los Carcharhinidae son la familia de peces cartilaginosos más representada. Además, los ecosistemas marinos y terrestres del archipiélago contribuyen a la conectividad a gran escala dentro del OPOT y esta conectividad es esencial, en particular para numerosas especies migratorias de elasmobranquios (CONANP, 2017; Ketchum *et al.*, 2020).

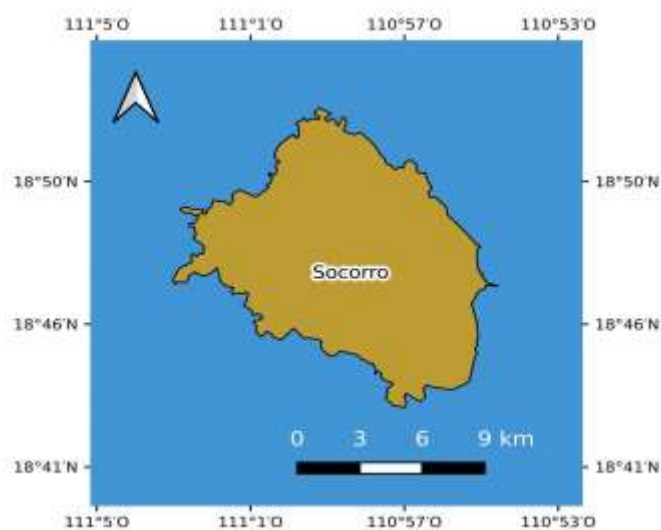
Dentro de las especies más comunes de peces cartilaginosos se encuentran: el tiburón sedoso o tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis*), el tiburón punta plateada (*C. albimarginatus*), el tiburón Galápagos (*C. galapagensis*), el tiburón martillo común (*Sphyrna lewini*), el tiburón puntas blancas de arrecife (*Triaenodon obesus*), la manta gigante (*Mobula*



*birostris*), el tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*), el tiburón ballena (*Rhincodon typus*), el tiburón punta negra (*C. limbatus*) y el tiburón arenoso (*C. obscurus*; Becerril-García *et al.*, 2020).

### 6.1.1 Isla Socorro

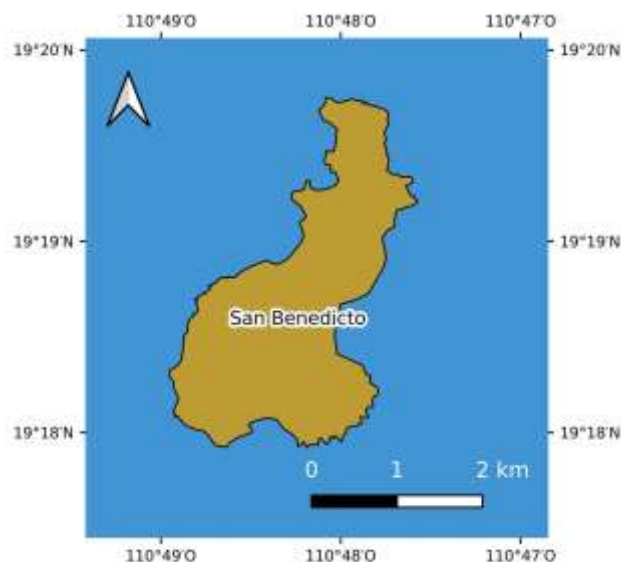
Socorro es la isla más grande del archipiélago, con una superficie de 130.39 km<sup>2</sup> (Fig. 2). Está constituida por un gran volcán prácticamente inactivo, el Evermann, que tiene 1,050 m de altitud y está rodeado por 12 cráteres subsidiarios que forman terrazas escalonadas de piedra pómez y lapilli (Miranda *et al.*, 1960). Una gran parte de la isla está constituida por flujos antiguos de lava basáltica (Arnaud *et al.*, 1994).



**Figura 2.** Isla Socorro

### 6.1.2 Isla San Benedicto

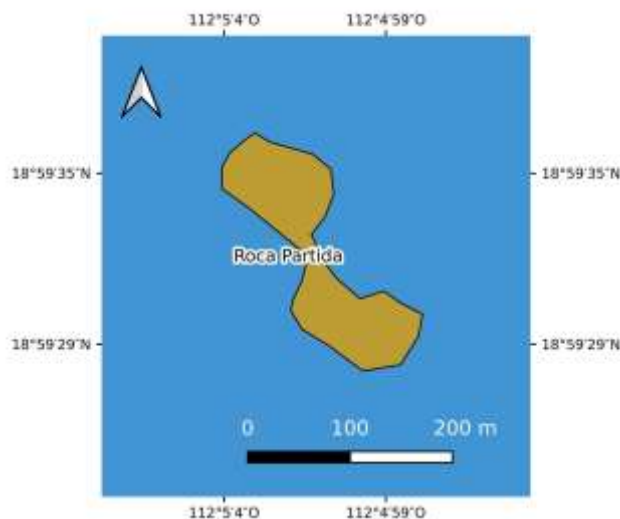
Esta isla es la más cercana de la costa de Baja-California y está considerada como la más joven del archipiélago, que emergió probablemente al finalizar el Pleistoceno (Fig. 3). Está constituida de un conjunto de antiguos conos volcánicos coalescentes y parcialmente erosionados, su superficie es de 5.53 km<sup>2</sup>. Su última actividad volcánica remonta al 1 de agosto 1952, durante la formación del volcán Bárcena. La erupción fue muy violenta con el índice de explosividad más alto grabado para un volcán oceánico en el este del Océano Pacífico (Brattstrom, 1990).



**Figura 3.** Isla San Benedicto

### 6.1.3 Islote Roca Partida

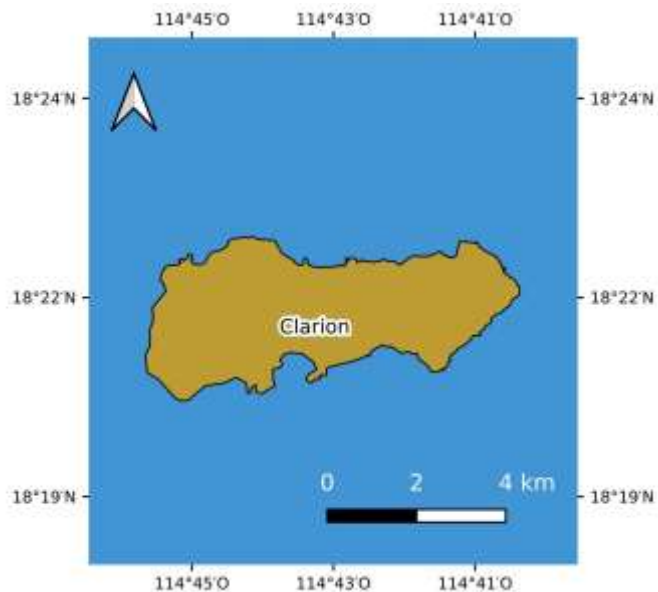
Este islote tiene una superficie de 0.0011 km<sup>2</sup> y es en realidad la cresta emergida de un estratovolcán submarino (Fig. 4). Sus laderas son muy escarpadas y la parte emergida se divide en dos cumbres que culminan a 25 m y 34 m de altura (Aldana Moreno, 2020).



**Figura 4.** Islote Roca Partida

### 6.1.4 Isla Clarión

La isla más occidental y aislada del archipiélago, con una superficie de 19.25 km<sup>2</sup> (Fig. 5). Se encuentra cerca de la zona de fractura de Clarión y es probablemente la más vieja de las islas del archipiélago, formada al principio del Plioceno. Al sur de la isla se encuentra una bahía que resguarda un arrecife coralino (Aubrey *et al.*, 1985).



**Figura 5.** Isla Clarión

## 6.2 Especie estudiada

Entre las especies depredadoras presentes en la PNR, el tiburón punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*) es una de las especies de tiburones más abundantes y comunes del archipiélago (Lara-Lizardi *et al.*, 2018; Ketchum *et al.*, 2020; Le Croizier *et al.*, 2020). Es un tiburón grande, de crecimiento lento, que puede alcanzar un tamaño máximo de 3 m de longitud total (Compagno y Fowler, 2005). Los machos alcanzan la madurez sexual hacia  $10.5 \pm 0.8$  años (170 - 180 cm LT) y las hembras hacia  $14.8 \pm 1.3$  años (190 – 210 cm LT; Smart *et al.*, 2017).

Esta especie está distribuida ampliamente en la zona tropical de los océanos Índico y Pacífico, así como en el Golfo de México, pero tiene una distribución fragmentada debido a una relativamente baja dispersión (Compagno y Fowler, 2005). Esta especie vive en zonas continentales o insulares y puede igualmente ser encontrada en los arrecifes coralinos. Se encuentra desde la zona intermareal hasta profundidades de 600 a 800 m. Los juveniles viven en las aguas costeras poco profundas mientras que los adultos ocupan una gran gama de hábitats (Last y Stevens, 2009; Dulvy *et al.*, 2014). Estudios recientes en arrecifes coralinos han revelado movimientos a pequeña escala entre varios arrecifes coralinos, al seno de una misma zona (Rizzari *et al.*, 2014; Bond *et al.*, 2015; Espinoza *et al.*, 2015a; Carlisle *et al.*, 2019). No obstante, esta especie ha sido poco estudiada (Last y Stevens, 2009;

Barnett *et al.*, 2012) y solo existe un estudio publicado sobre su ecología espacial a meso-escala (500 km) sobre la población de Nueva Caledonia (Bonnin *et al.*, 2023).

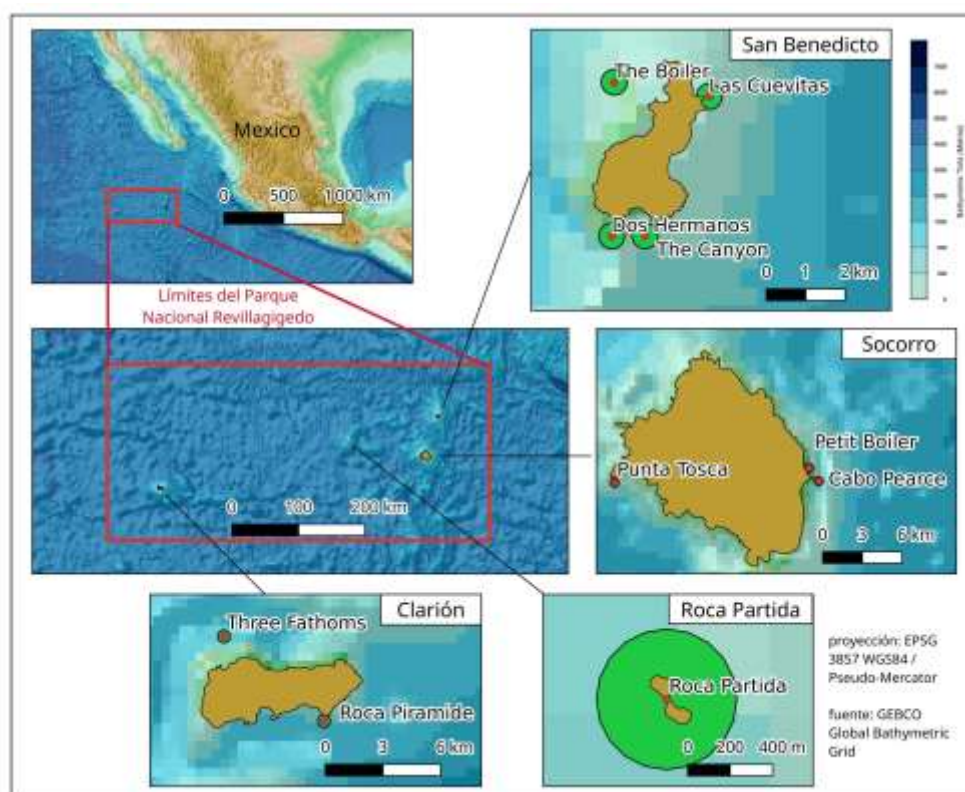
### **6.3 Marcado de individuos**

Se colocaron transmisores ultrasónicos V16 o V16P, con una frecuencia 69 kHz, retraso nominal de 60 a 180 s y con duración máxima de la batería de 3,650 días (Vemco, Halifax, Canadá). Estos transmisores emiten impulsos ultrasónicos con un código específico para cada individuo. En total, los transmisores fueron colocados en 45 tiburones punta plateada entre 2010 y 2017. Debido a la dificultad de acceso a estas islas aisladas y a nuestro interés de centrar el estudio principalmente en los juveniles, la mayoría de los tiburones fueron marcados en San Benedicto (N = 32), mientras que el resto fue marcado en Socorro (N = 7) y Roca Partida (N = 6). De los 45 transmisores colocados, 12 fueron del tipo V16P, equipados con un sensor de presión. Estos permitieron estudiar la distribución vertical de los tiburones.

La mayoría de los tiburones (N = 32) fueron capturados con ayuda de una caña estándar (Penn internacional 130VIS), fueron medidos, sexados y equipados de un transmisor interno. Se utilizó la caña con un líder de acero de 49 torones, 10 metros y 200 kg. Estos líderes estaban sujetos a diferentes ganchos, que variaban en tamaño del 01/0 al 09/0 en un extremo, y a un giratorio con capacidad para 200 kg en el otro extremo. Se hizo una incisión de 2 cm en la zona ventral (entre las aletas pectorales) con un escalpelo esterilizado para insertar el transmisor, se cerró la incisión con una sutura quirúrgica y se liberó al tiburón en el agua. A lo largo de la operación se colocó una tela húmeda sobre los ojos del tiburón y se pasó un flujo de agua continuo por la boca con un tubo y una bomba de agua con el fin de reducir el estrés del animal y evitar asfixia. El procedimiento se realizó en menos de 5 minutos. El resto de los transmisores (N = 13) fueron fijados de manera externa en el dorso del tiburón, debajo de la primera aleta dorsal mediante un dardo en acero inoxidable (Floy, Washington, USÓ) y con ayuda de una hawaiana para pesca deportiva. El sexo y la longitud total del tiburón se estimaron visualmente por el buzo. También se estimó la longitud de manera visual que corresponde a la longitud furcal (LF, Ketchum *et al.*, 2014). Aunque es más sencillo de implementar, la desventaja de este método es que puede resultar en la pérdida del transmisor debido a la fricción del agua, la corrosión de la línea de sujeción o peces que confundirían el transmisor con un ectoparásito, como se ha observado en estudios anteriores. (Kohler y Turner, 2001). El marcaje y los procedimientos quirúrgicos han

sido establecidos de acuerdo con el Comité institucional de cuidado y uso de animales de la Universidad de California, Davis (IACUC, Protocolo n° 16022).

Durante el periodo de estudio de este trabajo, se utilizaron diez receptores acústicos pasivos (VR2W Vemco Ltd.), capaces de detectar y registrar pulsaciones emitidas por los transmisores colocados en los tiburones. Estos receptores pueden registrar una gran cantidad de datos (~ 0.8 millón de registros) y su batería tiene una duración que teóricamente puede exceder 1 año. Cada seis meses se colectaron los datos de los receptores y se realizó el mantenimiento del sistema de anclaje de los receptores (limpieza y cambio de batería). En la Fig. 6 se muestra la distribución espacial de los receptores en el área de estudio, así como el buffer espacial que representa el alcance medio de los receptores. En total se colocaron cuatro en la isla San Benedicto (The Canyon, The Boiler, Las Cuevitas y Dos Hermanos), tres en la isla Socorro (Punta Tosca, Cabo Pearce y Petit Boiler), dos en la isla Clarión (Roca Pirámide y Three Fathoms) y finalmente una estación en Roca Partida (Roca Partida).



**Figura 6.** Ubicación de los receptores (estaciones) en el área de estudio. El rectángulo rojo corresponde al área ampliada y a los límites del Parque Nacional Revillagigedo (RNP). El círculo verde representa el alcance medio de los receptores.

Los receptores se fijaron al fondo con una cadena de acero inoxidable cubierta con tubo plástico, un cabo de nylon de 2 m de largo y una boya. Cada receptor se colocó a diferentes profundidades en sitios donde era más probable observar a los tiburones y dependiendo de la batimetría, entre los 20 y 41 m. En la isla San Benedicto: The Canyon - 22 m, The Boiler - 38 m, Las Cuevitas - 38 m y Dos Hermanos - 21 m; en la isla Socorro: Punta Tosca - 30 m, Cabo Pearce - 22 m y Petit Boiler - 21 m; en la isla Clarión: Roca Pirámide - 24 m y Three Fathoms - 36 m; y finalmente una estación en Roca Partida a 41 m. Como se sabe que los tiburones puntas plateadas frecuentan las estaciones de limpieza de los peces mariposa o barberos (O'Shea *et al.*, 2010), lo cual ha sido observado en varias ocasiones en el archipiélago, los receptores fueron ubicados de preferencia en estos sitios (Mauricio Hoyos-Padilla, comunicación personal). El alcance de detección de los receptores fue determinado en 350 m por una prueba realizada a Roca Partida con ayuda de un transmisor enganchado sobre un barco que se alejaba progresivamente.

#### **6.4 Análisis de datos**

Los datos fueron descargados con el software VUE (Vemco Ltd.) y se realizó el análisis de detección de tuerzas. Se definió como detección válida aquella lectura que tenía al menos dos registros en 24 horas (Papastamatiou *et al.*, 2015).

##### **6.4.1 Determinación de la edad**

A partir de la longitud total (LT), medida que va del morro al lóbulo superior de la aleta caudal, se estimó la edad del tiburón y su estado de madurez al momento del marcaje basado en el trabajo de Smart *et al.* (2017), en donde se reportan los siguientes parámetros de la ecuación de Von Bertalanffy:  $L_{\infty}=311.3$ ,  $L_0=72.1$ ,  $k=0.04$  para los machos y  $L_{\infty}=497.9$ ,  $L_0=70.87$ ,  $k=0.02$  para las hembras. Los resultados de este método de estimación sugieren que en promedio los machos alcanzan la madurez a los 10.5 ( $\pm 0.8$ ) años cuando alcanzan una longitud en el rango de 170-180 cm LT, mientras que en promedio las hembras alcanzan la madurez a los 14.8 ( $\pm 1.3$ ) años cuando alcanzan una longitud en el rango de 190-210 cm LT. Algunos tiburones marcados como juveniles alcanzaron la edad adulta durante el periodo de seguimiento, y por consiguiente fueron clasificados como "en transición".

##### **6.4.2 Número de días monitoreados**

Se aplicó un modelo lineal generalizado (MLG) para examinar las diferencias en el número de días detectados según el sexo (machos y hembras), el estadio de madurez (juveniles y

adultos), el método de marcaje (interno y externo), así como sus interacciones. Dado que la variable de respuesta (número de días) es un número entero y no puede tener valores negativos, se utilizó una distribución de Poisson y logaritmo como función de enlace (Wood, 2017). Para representar los coeficientes de este modelo, se utilizó un gráfico de efectos parciales, mismo que muestra el coeficiente estimado y el error tipo de las interacciones (Fox, 2003).

#### **6.4.3 Residencia**

El índice de residencia (IR) fue calculado para cada tiburón y por estación, dividiendo el número de días durante los cuales el tiburón fue detectado por estación entre el número de días máximo de detección (desde el marcaje hasta el último día detectado). La residencia total en la zona de estudio fue obtenida para cada tiburón sumando sus índices de estaciones individuales. El uso del sitio (US) fue calculado dividiendo el número de días durante los cuales un tiburón estuvo presente en cada estación por el número total de días durante los cuales fue detectado en cualquier estación. IR y US toman valores entre 0 y 1, donde los valores cercanos de 1 indican una residencia elevada en una estación dada.

#### **6.4.4 Movimientos diurnos y nocturnos**

Para evaluar los efectos potenciales de la variación diaria sistemática del alcance de recepción (Payne *et al.*, 2010), una baliza centinela fue desplegada en la zona de alcance de recepción del receptor de Roca Partida y se quedó ahí lugar durante un año. El porcentaje de detecciones grabadas por esta baliza ha sido luego calculado para cada hora de la jornada y su variación comparada durante el periodo de 24 h para estudiar las interferencias medioambientales potenciales (Daly *et al.*, 2019).

Para investigar la distribución horaria de la presencia de tiburones, todas las detecciones registradas se filtraron cada hora y se sumaron. El ciclo diurno (día y noche) se definió en base a los tiempos promedio anuales de salida y puesta del sol para el archipiélago (<http://www.solartopo.com/daylength.html>). La prueba de uniformidad de Rayleigh fue utilizada para determinar si la frecuencia de las detecciones era homogénea a lo largo de la jornada.

#### 6.4.5 Movimientos verticales

Para examinar los factores que han influido los movimientos verticales, un modelo aditivo generalizado (MAG) con error de distribución gaussiana fue utilizado ya que este método puede evaluar relaciones complejas y no lineales entre la variable respuesta (registros) y las siguientes variables predictivas: biológicas (sexo y madurez), temporales (tiempo, mes) y ambientales (TSM diaria y fase lunar). La fase de luna fue definida sobre el porcentaje de luminosidad como « nueva » (<10 %), « menguante » y « creciente » (11–90 %) y « llena » (>90 %; Espinoza *et al.*, 2015b). La temperatura diaria de la superficie del mar (TSM) fue obtenida a partir de datos satelitales de la NOAA de 14 días compuestos 0.0125 grados día y noche en torno a la isla de San Benedicto (NOAA NMFS SWFSC ERD, 2022). Para tomar en cuenta la naturaleza repetitiva de los datos, las balizas (individuos) fueron tratadas como efectos aleatorios en el modelo (Baayen *et al.*, 2008). El criterio de información de Akaike corregido para las pequeñas muestras (AICc) fue utilizado para evaluar el ajuste del modelo, y los modelos candidatos han sido comparados a un modelo de interceptación únicamente (modelo nulo). El mejor modelo ajustado fue determinado con ayuda de un análisis de varianza (ANOVA), además este método fue utilizado para determinar el efecto de las variables predictivas sobre la presencia de tiburones (Espinoza *et al.*, 2015b). La ecuación de este modelo puede definirse de la siguiente manera:

$$\text{Profundidad} \sim s(\text{Hora}) + s(\text{TSM}) + s(\text{Mes}) + \text{Estadio} + \text{Sexo} + \text{Día} + \text{Luna}. \quad (1)$$

Donde Profundidad representa la profundidad a la que fue detectado un tiburón en una hora específica, TSM es la temperatura superficial del mar, Estadio = Estadio de madurez,  $s$  es una función suavizadora que describe la relación lineal o no lineal entre la variable predictiva y la respuesta.

#### 6.4.6 Movimientos horizontales

Para estudiar la conectividad entre las estaciones, todos los movimientos realizados por los tiburones fueron identificados y contados. Un movimiento fue definido por dos detecciones consecutivas grabadas en dos estaciones diferentes para el mismo individuo. La distancia mínima en el agua que separa cada par de estaciones ha sido medida en QGIS. Luego, todas las distancias recorridas por cada tiburón han sido sumadas en dos índices: i) Distancia Mínima Recorrida Intraisular MinDRa, que suma todos los movimientos realizados entre las



estaciones en torno a una misma isla, y ii) Distancia Mínima Recorrida Interinsular MinDRe, que suma todos los movimientos realizados entre estaciones sitas en torno a islas diferentes.

Se realizó un análisis de redes donde los 'nodos' eran las estaciones y los 'bordes' entre los nodos representaban la salida de tiburones individuales de un lugar (origen) seguida de la llegada a otro (destino), la siguiente estación en la que se detectó el tiburón. Así, se crearon redes ponderadas donde el peso del borde representaba la frecuencia de conexiones entre estaciones (Jacoby et al., 2012, 2020). La conectividad se definió tanto para la red completa, que representa todos los tiburones detectados, como para las redes secundarias, donde los tiburones fueron separados por sexo y estado de madurez. Se utilizaron varias métricas para describir las redes: número de nodos ( $n$ ) y bordes ( $e$ ), grado medio de nodo ( $k$ ), reciprocidad ( $r$ ), densidad de bordes ( $e_d$ ), diámetro de la red ( $d$ ) y centralidad del vector propio ( $c$ ).

La centralidad, que representa qué tan bien están conectadas las estaciones entre sí, se evaluó con dos métricas:  $k$ , que representa la suma no ponderada de nodos que se conectan a una ubicación específica, y  $c$ , que corresponde al valor del primer vector propio del gráfico de adyacencia. Matriz y mide qué tan fuertemente están conectados los nodos locales entre sí. La movilidad dentro de la red estuvo representada por  $e_d$ , que es la proporción del total de conexiones existentes formadas dentro de la red. El tamaño de la red estuvo representado por  $d$ , que es la longitud de la geodésica más larga. Finalmente,  $r$  representa la proporción de movimientos dirigidos que son recíprocos en ambas direcciones.

#### **6.4.7 Preferencias ambientales**

La influencia de los parámetros medioambientales sobre la probabilidad de detección de los tiburones fue evaluada utilizando un MAG, que evalúa la relación entre la proporción de tiburones detectados cada día por informe al número de tiburones potencialmente presentes en la zona y varios parámetros medioambientales: la temperatura superficial del mar (en °C), la concentración de clorofila-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), la precipitación ( $\text{mm}/\text{día}$ ), la intensidad del viento ( $\text{m}/\text{s}$ ), el componente meridional del viento ( $u$ ,  $\text{m}/\text{s}$ ), el componente zonal del viento ( $v$ ,  $\text{m}/\text{s}$ ), la duración del día (en h) y otras variables temporales como el año, el mes y el día juliano (1 - 365). Los datos ambientales utilizados provienen de datos satelitales y fueron generados por la NOAA. Para aumentar la cantidad de datos satelitales, se utilizó un buffer de 30 km de radio en torno a las estaciones.

Se evaluó la influencia de los huracanes cercanos a las estaciones en el número o la hora de detección de tiburones punta plateada. Los eventos de huracanes fueron extraídos de los datos históricos de las trayectorias de huracanes de la NOAA. Cada huracán cuya trayectoria pasaba a 10 km o menos de una de las cuatro islas durante la duración del estudio fue registrado.

Los análisis de este estudio fueron realizados en los programas R (R Core Team, 2021) y QGIS (QGIS *Development Team* 2021). Los gráficos de detecciones individuales han sido realizados con el paquete *actel* (Flávio y Baktoft 2021).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Mercado de individuos

Cuarenta y cinco tiburones punta plateada (27 hembras, 17 machos, 1 indeterminado) fueron marcados acústicamente en las islas de San Benedicto (N = 32), Socorro (N = 7) y Roca Partida (N = 6) entre abril de 2010 y noviembre de 2017 (Tabla 1). La longitud total (TL) de los tiburones osciló entre 80 cm y 200 cm con un promedio de  $118.7 \pm 36.42$  cm. Treinta y seis tiburones fueron clasificados como juveniles y 8 como adultos al momento del marcado.

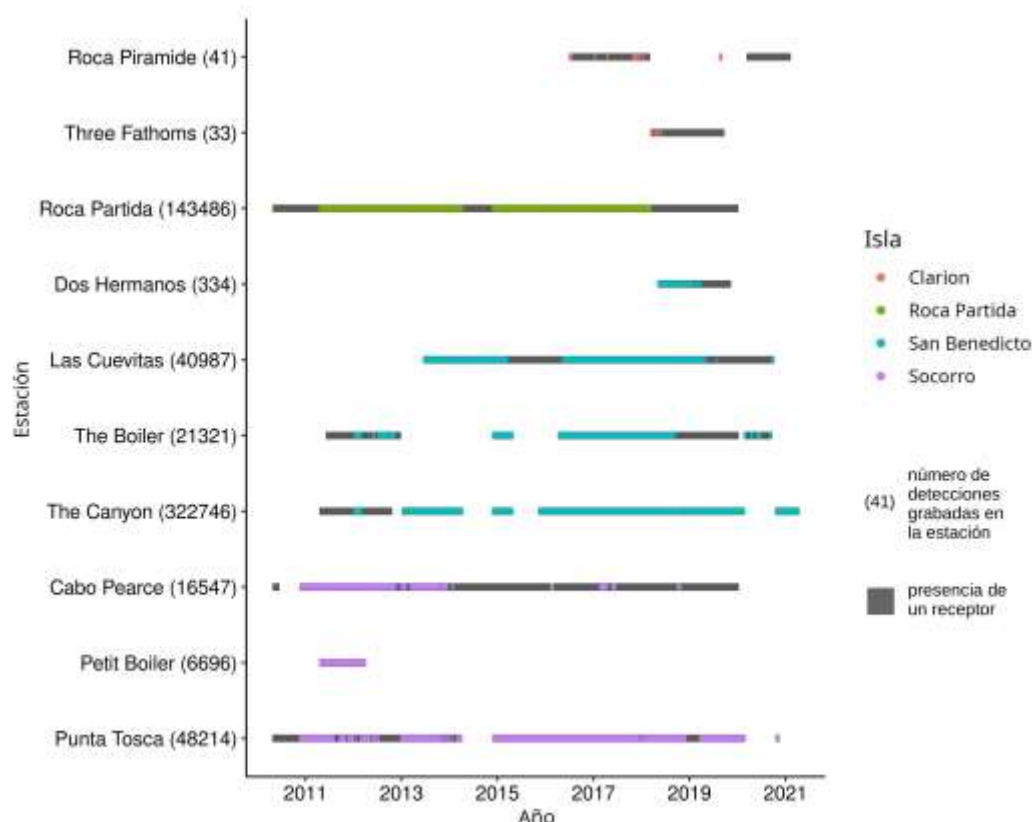
Doce tiburones fueron marcados con transmisores V16P, equipados de sensores de profundidad. Todos los demás tiburones han sido equipados de transmisores V16.

**Tabla 1.** Tiburones marcados en el Archipiélago de Revillagigedo

Número de marca	Lugar de marcaje	Fecha de marcaje	Método de marcaje	Sexo	Longitud total (cm)	Estatus estimado a la fecha de marcaje	Edad estimada a la fecha de marcaje	Número de días monitoreados	Número de días detectados
ST01	San Benedicto	2010-04-26	Externa	-	175	Adulto	14.5	7	3
ST02	Socorro	2010-11-15	Interna	H	152	Juvenil	11	946	242
ST03	Roca Partida	2010-11-21	Interna	H	185	Adulto	16	1604	1152
ST04	Socorro	2010-11-22	Interna	M	108	Juvenil	5	1035	1022
ST05	Socorro	2010-11-22	Interna	H	111	Juvenil	5	0	0
ST06	Socorro	2010-11-22	Interna	H	129	Juvenil	8	2743	508
ST07	San Benedicto	2012-04-26	Interna	H	93	Juvenil	3	347	55
ST08	San Benedicto	2012-04-26	Interna	M	89.5	Juvenil	2	661	305
ST09	San Benedicto	2012-04-26	Interna	H	89	Juvenil	3	170	11
ST10	San Benedicto	2012-04-26	Interna	M	81	Juvenil	1	494	210
ST11	Roca Partida	2012-04-28	Externa	H	-	-	-	0	0
ST12	Roca Partida	2012-04-29	Externa	H	200	Adulto	19	2144	1663
ST13	San Benedicto	2012-12-29	Interna	H	108	Juvenil	5	0	0
ST14	San Benedicto	2012-12-29	Interna	H	124	Juvenil	7	845	311
ST15	San Benedicto	2012-12-29	Interna	H	97	Juvenil	4	0	0
ST16	Socorro	2013-01-01	Interna	M	102	Juvenil	4	1074	258
ST17	San Benedicto	2013-02-06	Interna	H	87	Juvenil	2	1594	533
ST18	San Benedicto	2013-03-06	Interna	M	166	Adulto	13	1908	201
ST19	San Benedicto	2013-03-07	Interna	M	121	Juvenil	6	0	0
ST20	San Benedicto	2013-03-07	Interna	H	133	Juvenil	8	1692	214
ST21	San Benedicto	2013-03-07	Interna	H	110	Juvenil	5	675	377
ST22	Roca Partida	2013-03-08	Externa	H	200	Adulto	19	159	67
ST23	San Benedicto	2013-04-11	Interna	H	111	Juvenil	5	1274	790
ST24	San Benedicto	2013-04-11	Interna	H	87	Juvenil	2	2187	659
ST25	San Benedicto	2013-05-28	Interna	M	86	Juvenil	2	637	81
ST26	San Benedicto	2013-05-28	Interna	H	89	Juvenil	3	30	29
ST27	San Benedicto	2013-05-28	Interna	H	86	Juvenil	2	1391	761
ST28	San Benedicto	2013-05-29	Externa	M	150	Adulto	10	57	14
ST29	Roca Partida	2013-05-30	Externa	H	200	Adulto	19	135	103
ST30	San Benedicto	2013-11-25	Interna	M	80	Juvenil	1	972	48
ST31	San Benedicto	2014-11-17	Interna	H	105	Juvenil	5	911	543
ST32	Roca Partida	2014-11-19	Externa	H	200	Adulto	19	1138	1011
ST33	San Benedicto	2014-11-25	Interna	M	85	Juvenil	2	153	150
ST34	San Benedicto	2014-11-25	Interna	M	102	Juvenil	4	2330	1160
ST35	San Benedicto	2014-11-25	Interna	H	97	Juvenil	4	1351	628
ST36	Socorro	2014-11-26	Interna	M	113	Juvenil	5	1761	368
ST37	Socorro	2014-11-27	Interna	M	89	Juvenil	2	2178	1147
ST38	San Benedicto	2015-12-30	Interna	M	97	Juvenil	3	820	386
ST39	San Benedicto	2016-04-10	Externa	H	104	Juvenil	5	920	709
ST40	San Benedicto	2016-04-10	Externa	M	102	Juvenil	4	775	402
ST41	San Benedicto	2016-04-10	Externa	M	100	Juvenil	4	654	255
ST42	San Benedicto	2016-04-10	Externa	H	84	Juvenil	2	480	284
ST43	San Benedicto	2016-04-10	Externa	M	109	Juvenil	5	1121	707
ST44	San Benedicto	2016-04-25	Externa	H	138	Juvenil	9	867	698
ST45	San Benedicto	2017-11-20	Interna	H	148	Juvenil	10	1240	1055

## 7.2 Detecciones ultrasónicas

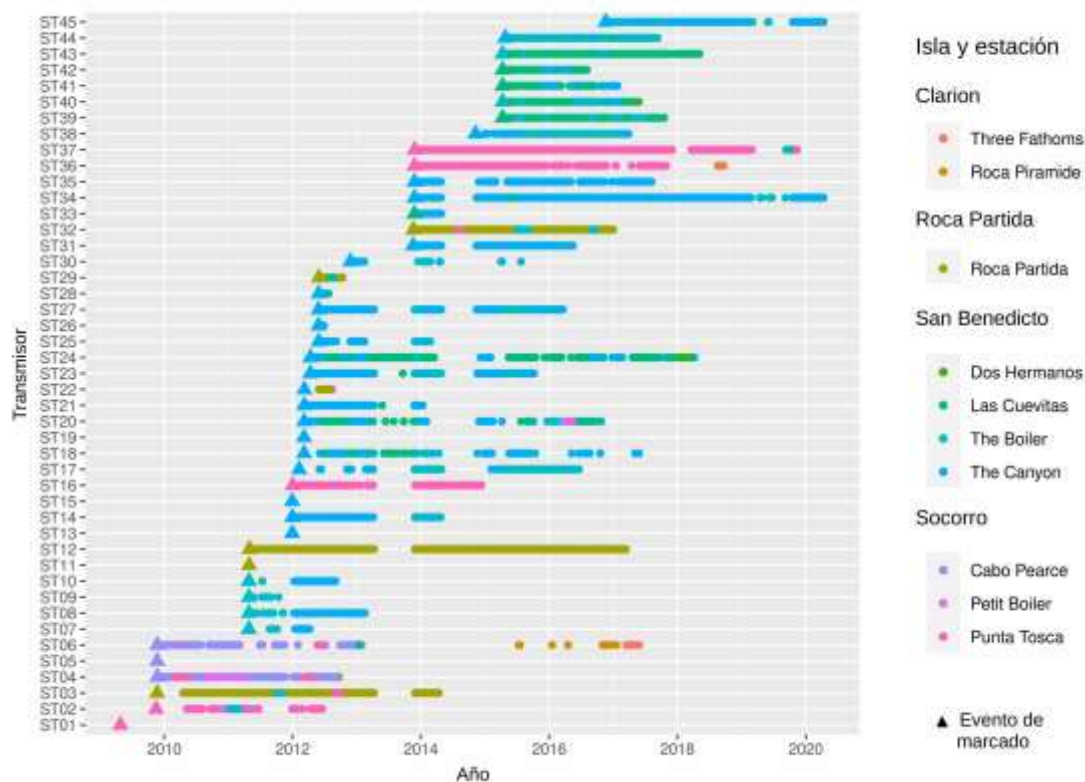
Un total de 743,891 detecciones fueron registradas entre el 26/04/2010 y el 13/04/2021 al seno de las 10 estaciones repartidas en el archipiélago. Cada estación estaba equipada de un receptor, salvo Roca Partida que estaba equipada de dos receptores al mismo tiempo, uno al oeste y el otro al este, con el fin de cubrir todo el perímetro del islote. Ciertas estaciones fueron equipadas con un receptor durante toda la duración del estudio, mientras que en otras sólo se mantuvieron durante algunos meses o años (Fig. 7).



**Figura 7.** Detecciones de tiburones punta plateada grabadas para todas las estaciones del Archipiélago de Revillagigedo. Las detecciones grabadas se representan en diferentes colores correspondientes a la isla donde se encuentra la estación. Los períodos de tiempo con un receptor funcional presente en el sitio, pero sin detecciones, están en gris oscuro.

Cinco tiburones (4 hembras y 1 macho) entre los 45 marcados nunca fueron detectados en la zona de estudio y han sido excluidos de los análisis posteriores. Los cuarenta tiburones restantes fueron seguidos entre 7 y 2743 días, con una media de  $1037 \pm 701$  días (Fig. 8). Según el MLG, el número de días monitoreados varió considerablemente dependiendo del sexo, estado de madurez, método de marcado (interno/externo) y sus interacciones (Tabla 2). Este modelo explica el 78.8 % de la desviación y en general sugiere que las hembras permanecen más tiempo en el área de estudio que los machos (esto es más evidente en adultos con transmisores externos). En cuanto al estado de madurez y el método de

marcado, el modelo indica que existen pequeñas diferencias: sin embargo, los coeficientes sugieren diferencias mayores para los adultos y el método de marcado externo. Los machos juveniles y los machos con transmisores internos tienen los coeficientes más altos, lo que sugiere que permanecen más tiempo en el área de estudio.



**Figura 8.** Gráfico de presencia de los tiburones punta plateada seguidos en el archipiélago de Revillagigedo. Los diferentes colores corresponden a las diferentes estaciones. Los triángulos representan la fecha y el sitio de marcaje.

El número de detecciones más alto para un tiburón correspondió a una hembra de 185 cm LT a la fecha de marcaje, que se registró durante 1604 días, con un total de 87149 detecciones. El número más bajo fue aquel del tiburón de sexo no identificado de 175 cm LT seguido durante 7 días con un total de 40 detecciones.

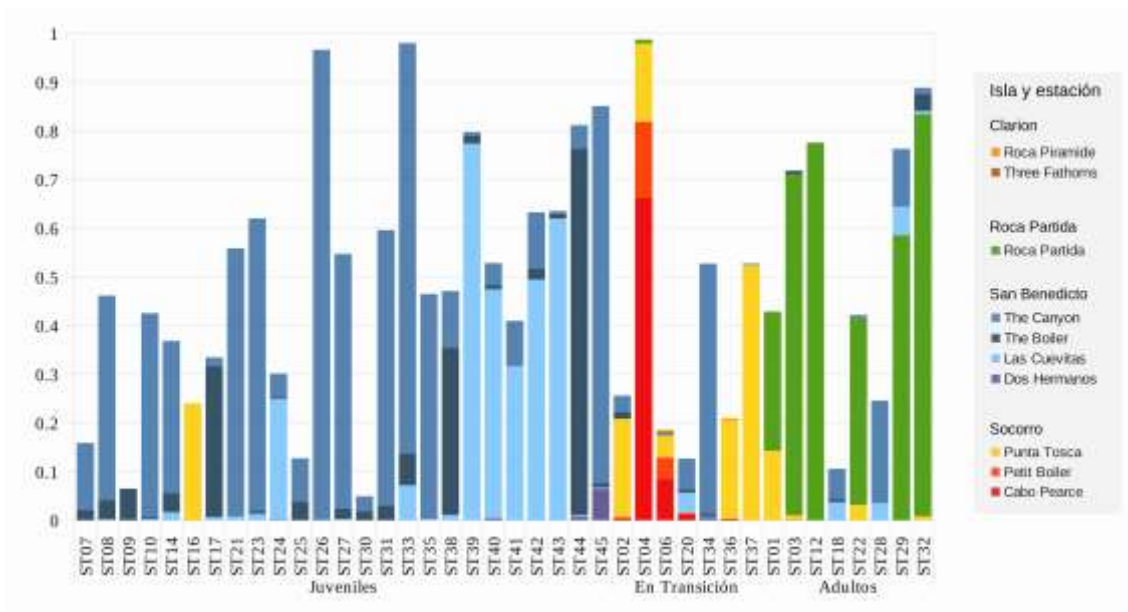
**Tabla 2.** Parámetros de regresión estimados, errores estándar, valores z y valores p para el MLG de Poisson. \* El intercepto representa el coeficiente para estas categorías: Hembra, Adulto y Externo.

Tratamiento (Sexo: Etapa de madurez: Método)	Estimación	Estándar Error	Valor z	Valor p
Intercepto*	5.47	0.02	291.63	<0.001
Macho	-3.52	0.27	-13.15	<0.001
Juvenil	-0.34	0.03	-10.99	<0.001
Interno	0.19	0.03	5.58	<0.001
Macho : Juvenil	3.41	0.27	12.62	<0.001
Macho : Interno	3.00	0.27	11.10	<0.001
Juvenil : Interno	-0.38	0.04	-8.68	<0.001
Macho : Juvenil : Interno	-2.86	0.27	-10.45	<0.001

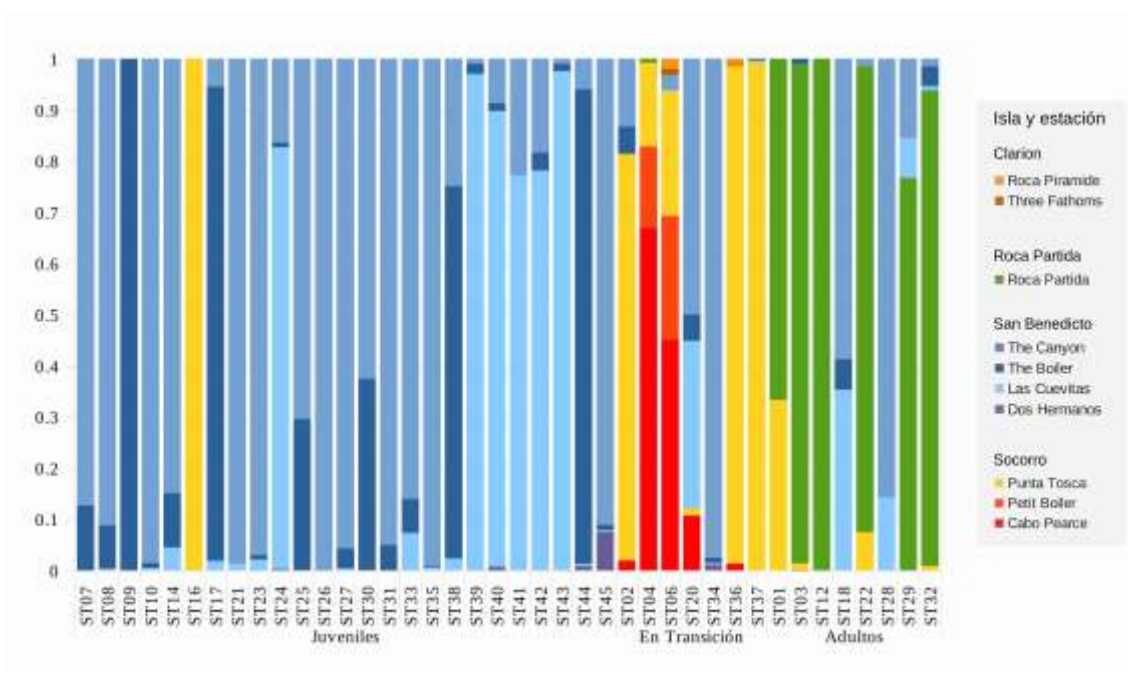
Para los receptores, la estación que presenta el número de detecciones más alto fue The Canyon con 322,746 y las estaciones que presentan el número más bajo fueron las dos estaciones de la isla de Clarión, Roca Pirámide y Three Fathoms con 41 y 33 detecciones respectivamente.

### 7.3 Residencia

El índice de residencia (IR) y el uso del sitio (US) fueron calculados para cada tiburón (Fig. 9 y 10). La residencia acumulada varió de 0.049 a 0.99 con una residencia acumulada media igual a  $0.49 \pm 0.27$ . Según estos índices, los tiburones parecían ser detectados principalmente a una sola estación, con una frecuencia mediana de detecciones de  $0.86 \pm 0.073$ . No hubo diferencias significativas en la residencia entre juveniles y adultos (prueba de los rangos firmados de Wilcoxon,  $W = 103$ ,  $P = 0,50$ ), ni entre machos y hembras juveniles (prueba de los rangos firmados de Wilcoxon,  $W = 74$ ,  $P = 0,32$ ), ni entre machos y hembras adultos (prueba de los rangos firmados de Wilcoxon,  $W = 12$ ,  $P = 0,071$ ). La estación preferida depende del estatus de madurez del tiburón, los juveniles se distribuyeron principalmente en las estaciones de la isla de San Benedicto, mientras que los adultos fueron detectados principalmente en Roca Partida (Tabla 3).



**Figura 9.** Índice de residencia (IR)



**Figura 10.** Uso del sitio (US)

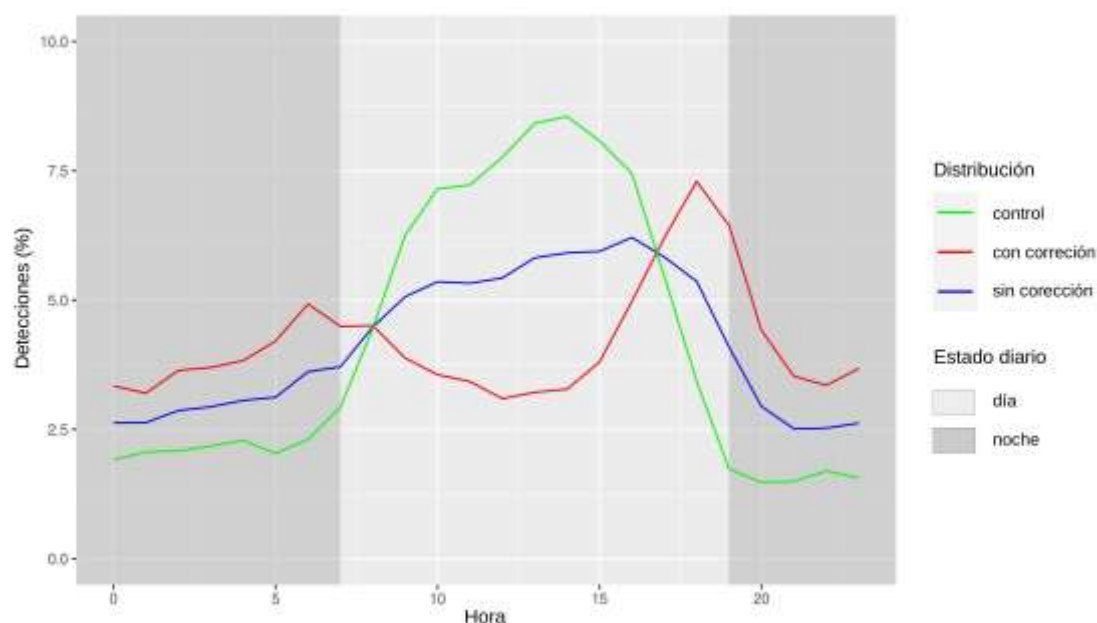


**Tabla 3.** Estación donde se registraron más detecciones para cada tiburón, reagrupados por estatus de madurez.

Isla	Estación	Juveniles	En Transición	Adultos
	The Boiler	3	1	-
San Benedicto	The Canyon	13	3	2
	Las Cuevitas	5	1	-
Socorro	Cabo Pearce	-	2	-
	Punta Tosca	1	3	-
Roca Partida	Roca Partida	-	-	6

#### 7.4 Movimientos diurnos y nocturnos

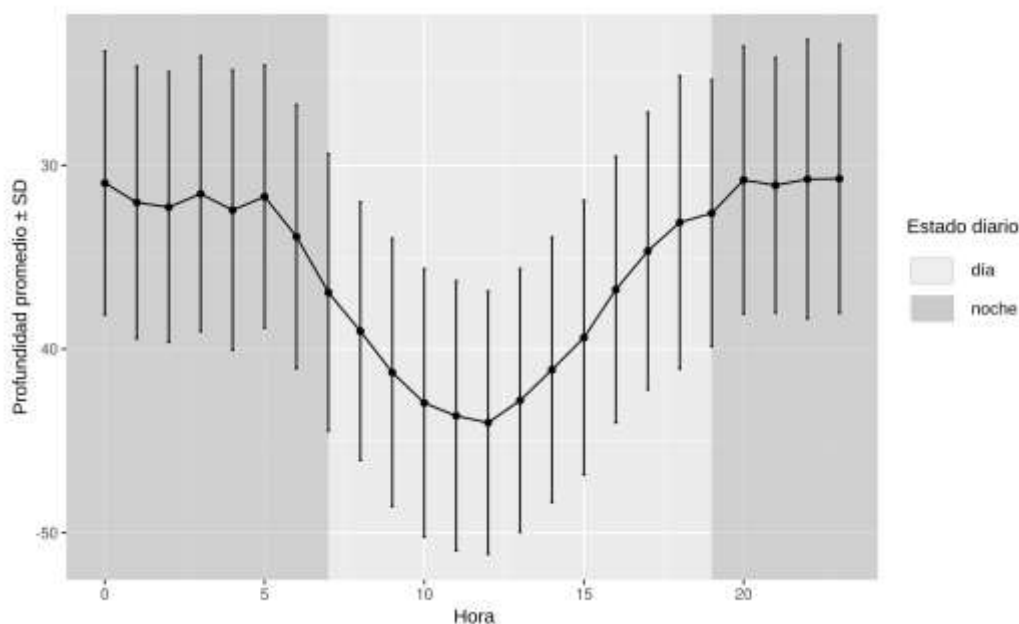
La proporción horaria de detecciones de la baliza centinela no fue constante durante el periodo de 24 h. Este resultado significa que las condiciones medioambientales interfieren con la transmisión de las señales acústicas en las aguas del archipiélago durante la noche (Fig. 11). El reparto horario de las detecciones de los tiburones fue corregido sustrayendo las proporciones horarias de las detecciones de la baliza centinela para eliminar la influencia del medio ambiente. La distribución corregida no fue homogénea a lo largo de la jornada (prueba de uniformidad de Rayleigh,  $R = 0.12$ ,  $P = 0.71$ ), con dos picos de detecciones que se producen al amanecer y al crepúsculo. La distribución no corregida no fue tampoco homogénea (prueba de uniformidad de Rayleigh,  $R = 0.12$ ,  $P = 0.70$ ).



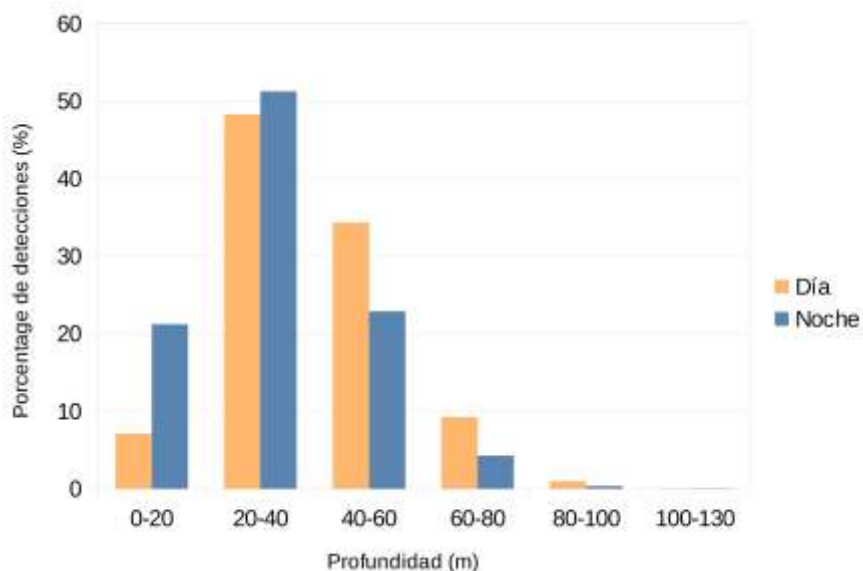
**Figura 11.** Frecuencia de detección porcentual por lámina horaria antes (línea azul) y después de (línea roja) corrección con los datos de la baliza centinela (línea verde). El fondo más sombrío representa las horas de noche, sobre una media anual (19:00 – 07:00).

### 7.5 Movimientos verticales

Dentro del rango de profundidad del receptor, las profundidades registradas para los 12 tiburones juveniles equipados con transmisores V16P oscilaron entre 0 y 128.9 m, con un promedio de  $36.5 \pm 15.4$  m (Fig. 12). Todos los tiburones presentaron fuertes disparidades de utilización de la profundidad entre el día y la noche (Fig. 13; prueba de los rangos firmados de Wilcoxon,  $W = 5761867800$ ,  $P < 0.001$ ). El MAG mostró que la utilización de la profundidad estuvo significativamente influenciada por el estado de madurez y la fase lunar con un valor de F bajo, y más fuertemente con un valor de F más alto por estado diario, TSM diaria y mes (Tabla 4; Fig. 14). Durante el día, los machos y las hembras fueron detectados a mayor profundidad en la columna de agua (con una media de  $39.8 \pm 14.9$  m) que en la noche (con una media de  $32.1 \pm 14.9$  m). La profundidad máxima se alcanzó hacia mediodía y la mínima hacia media noche. Se han detectado tiburones en aguas más profundas durante la temporada de invierno y durante las fases de luna menguante. Sin embargo, el efecto de la fase lunar fue más débil que los efectos del mes o el estado diario.



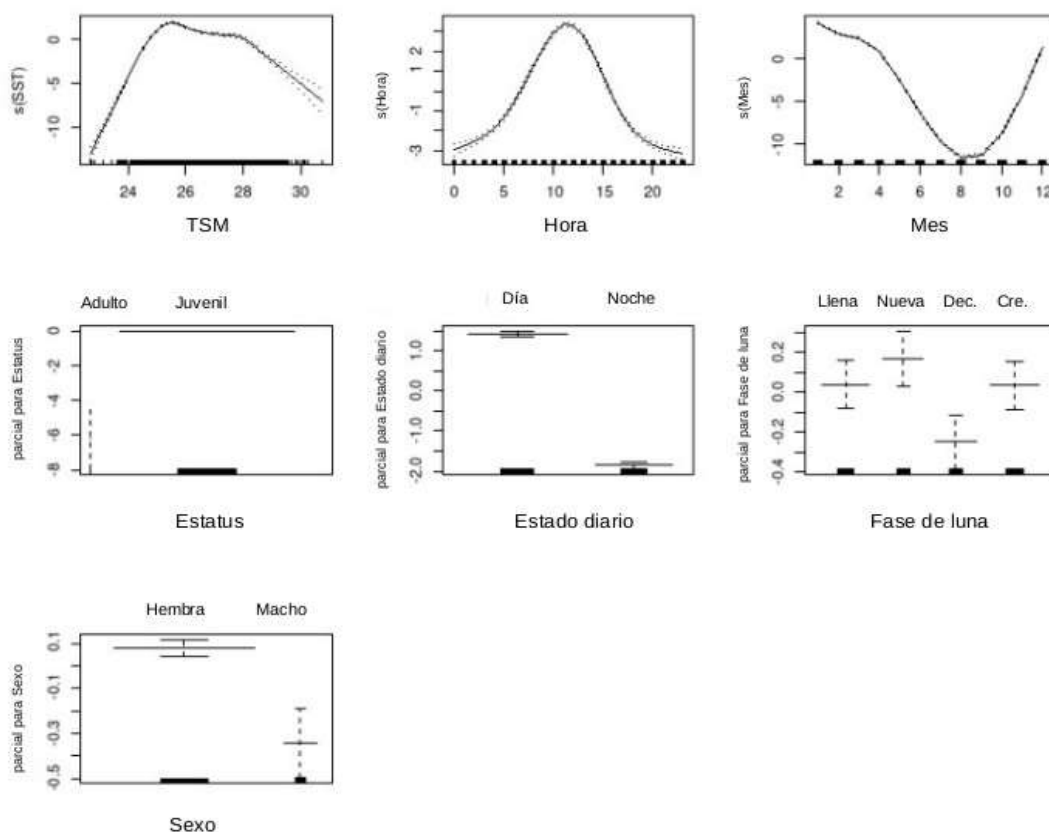
**Figura 12.** Utilización horaria de la profundidad. Los puntos representan la media y las barras verticales la desviación estándar. El fondo más oscuro representa las horas de noche, sobre una media anual (19:00 – 07:00).



**Figura 13.** Porcentaje de detecciones grabadas por intervalo de profundidad para el día (07:00 – 19:00) y la noche (19:00 – 07:00).

**Tabla 4.** Recopilación de los resultados del MAG de la utilización de la profundidad para los tiburones puntas plateadas en el Archipiélago de Revillagigedo.

Factor	SS	MS	df	F valor	p valor
Hora	1603	1603	1	8.5304	0.00349
Estado diario	359506	359506	1	1912.582	< 0.001
Mes	582130	582130	1	3096.951	< 0.001
TSM diaria	15142	15142	1	80.557	< 0.001
Fase de luna	2979	993	3	5.283	< 0.001
Sexo	707	707	1	3.759	0.0525
Estatus	9337	9337	1	49.672	< 0.001



**Figura 14.** Influencia de los diferentes parámetros incluidos en el MAG sobre la utilización de la profundidad para los tiburones puntas plateadas en el archipiélago de Revillagigedo.

## 7.6 Movimientos horizontales

### 7.6.1 Movimientos de baja a mediana escala: intrainsulares

Todos los viajes realizados por los tiburones han sido separados entre los viajes intrainsulares y interinsulares, después la distancia total que han recorrido ha sido sumada para cada individuo (Tabla 5). De los 40 tiburones detectados, 5 solo fueron detectados en una estación. Para los juveniles, ningún movimiento fue grabado fuera de su isla de marcaje (San Benedicto o Socorro) con una distancia mínima total recorrida intrainsular (MinDRa) comprendida entre 0 y 221 km.

La mayoría de los movimientos intrainsulares fueron grabados en torno a las islas de San Benedicto y Socorro (Tabla 6). Recordemos que las islas de Clarión y Roca Partida tuvieron sólo dos y una estación, respectivamente. En San Benedicto, estos movimientos fueron por tiburones de todas las edades, mientras que en torno a Socorro fueron realizados por juveniles antes de su transición a la edad adulta. En Roca Partida únicamente se registraron adultos.

**Tabla 5.** Patrones de movimientos de los tiburones punta plateada seguidos en el archipiélago de Revillagigedo. Cuando un tiburón fue marcado como juvenil y alcanzó la edad adulta durante su tiempo de monitoreo se le denominó "en transición".

Estado de vida	Número de marca	Sexo	Número de días monitoreados	Número de islas visitadas	Distancia Mínima Recorrida Intraisular MinDRa (km)	Distancia Mínima Recorrida Interisular MinDRe (km)
	ST07	F	347	1	3.96	0
	ST08	M	661	1	11.71	0
	ST09	F	170	1	0	0
	ST10	M	494	1	11.71	0
	ST14	F	845	1	171.28	0
	ST16	M	1074	1	0	0
	ST17	F	1594	1	74.57	0
	ST21	F	675	1	31.02	0
	ST23	F	1274	1	117.46	0
	ST24	F	2187	1	193.19	0
Juveniles	ST25	M	637	1	11.88	0
	ST26	F	30	1	0	0
	ST27	F	1391	1	221.19	0
	ST30	M	972	1	19.79	0
	ST31	F	911	1	158.34	0
	ST33	M	153	1	60.66	0
	ST35	F	1351	1	33.71	0
	ST38	M	820	1	337.16	0
	ST39	F	920	1	99.89	0
	ST40	M	775	1	168.85	0
	ST41	M	654	1	174.5	0
	ST42	F	480	1	195.27	0

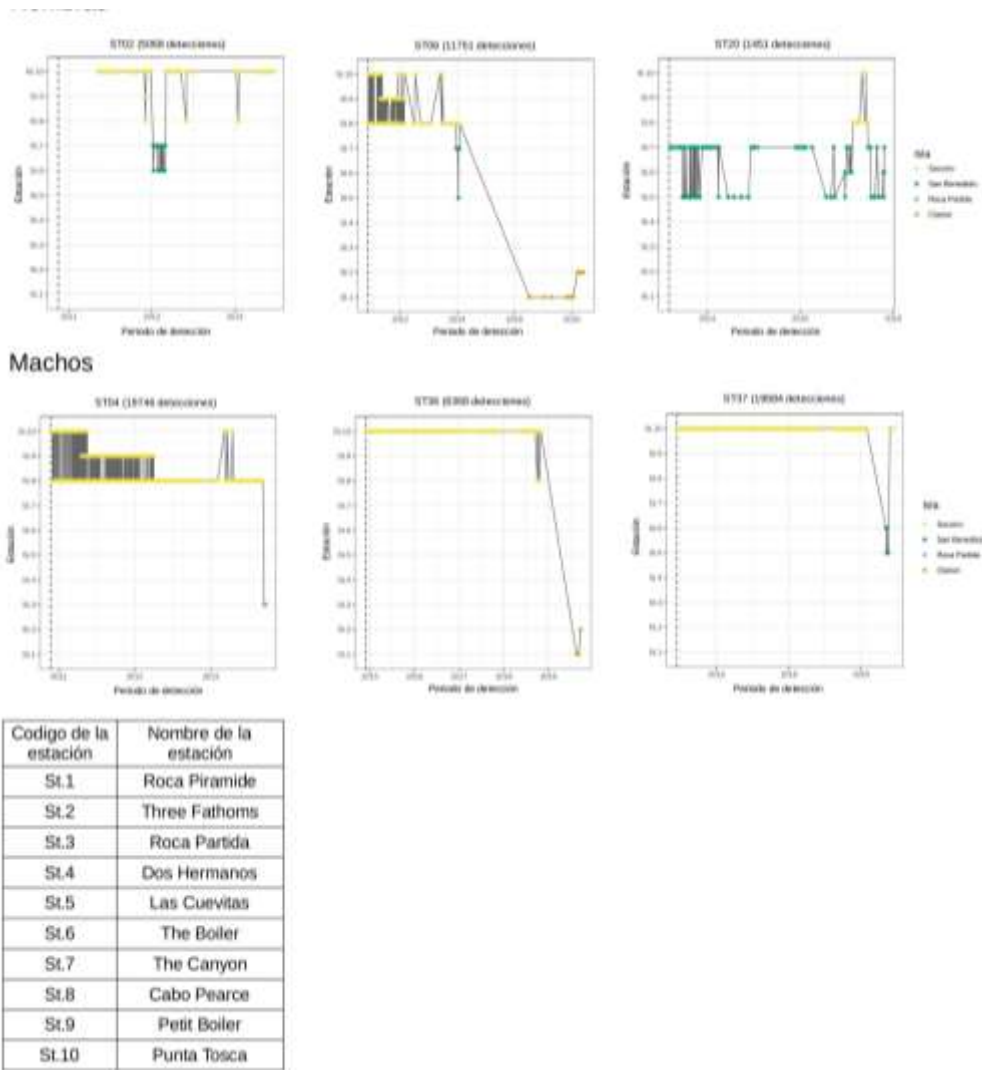
	ST02	F	946	2	156.59	125.99
	ST04	M	1035	2	7247.64	126.36
	ST06	F	2743	3	3842.23	519.83
	ST20	F	1692	2	249	120.2
En transición	ST34	M	2330	1	98.86	0
	ST36	M	1761	2	68.62	387.95
	ST37	M	2178	2	7.32	133.13
	ST43	M	1121	1	67.5	0
	ST44	F	867	1	233.58	0
	ST45	F	1240	1	218.43	0
<hr/>						
	ST01		7	2	0	111.25
	ST03	F	1604	3	30.91	499.97
	ST12	F	2144	1	0	0
Adultos	ST18	M	1908	1	308.28	0
	ST22	F	159	3	0	249.76
	ST28	M	57	1	11.63	0
	ST29	F	135	2	34.9	279.48
	ST32	F	1138	3	116.22	851.51
	<hr/>					

**Tabla 6.** Número total de movimientos grabados entre las estaciones de una misma isla

Isla	Viaje	Distancia (m)	Total	Juveniles		En transición		Adultos	
				Machos (N = 8)	Hembras (N = 11)	Machos (N = 5)	Hembras (N = 5)	Machos (N = 2)	Hembras (N = 4)
Clarión	Roca Piramide Three Fathoms	-> 6801.27	2	0	0	1	1	0	0
San Benedicto	The Canyon <- > Las Cuevitas	3877.7	391	98	151	21	48	11	62
	The Canyon <- > The Boiler	3958.52	369	90	150	12	80	20	17
	Dos Hermanos <-> The Canyon	847.38	191	3	4	24	160	0	0
	Las Cuevitas <- > The Boiler	2441.1	105	20	48	10	10	12	5
	The Boiler <-> Dos Hermanos	3887.18	10	0	0	0	10	0	0
Socorro	Dos Hermanos <-> Las Cuevitas	4308.53	4	2	0	0	2	0	0
	Punta Tosca <-> Cabo Pearce	15454.39	640	0	0	438	200	2	0
	Cabo Pearce <-> Petit Boiler	1231.43	588	0	0	355	233	0	0
	Petit Boiler <- > Punta Tosca	14754.79	48	0	0	7	41	0	0

### 7.6.2 Movimientos de mediana a gran escala: interinsulares

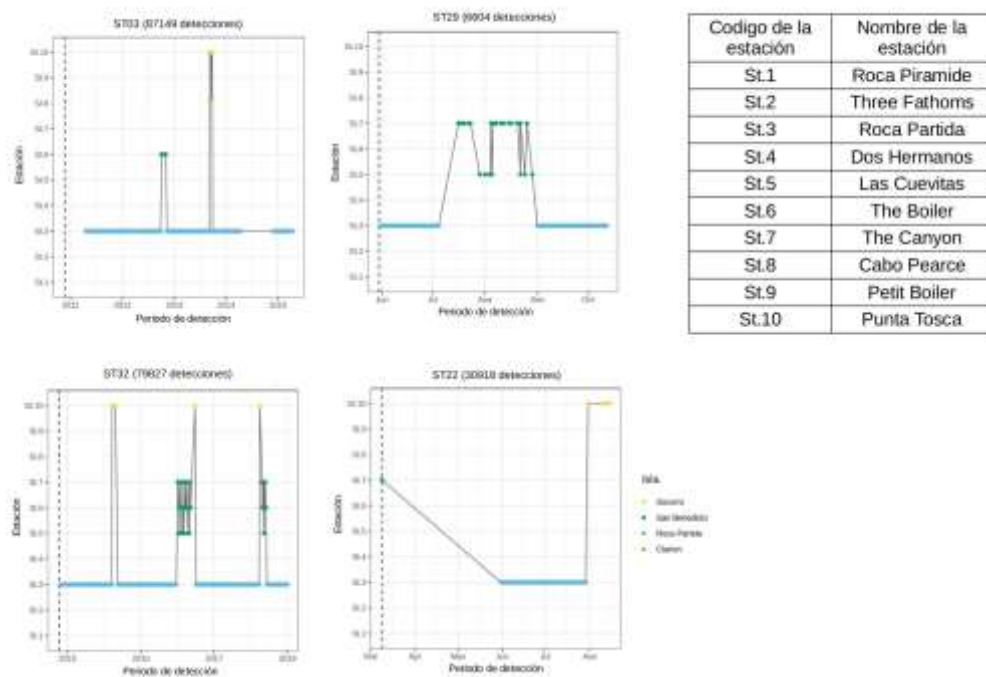
Todas las detecciones para cada individuo fueron representadas por estación y por fecha (ver Anexos A1, A2 y A3). Solamente los adultos y juveniles que alcanzaron la edad adulta durante su periodo de seguimiento efectuaron viajes interinsulares. La Distancia Mínima Recorrida Interinsular (MinDRe) varió de 111.25 km a 851.51 km según los individuos (Tabla 5). Seis juveniles se fueron de su isla de marcaje una vez adultos, tres machos se marcharon entre 8 y 10 años y tres hembras a 11 y 12 años (Fig. 15).



**Figura 15.** Gráficos individuales de los seis tiburones marcados como juveniles que se fueron de su isla de marquaje en la edad adulta.

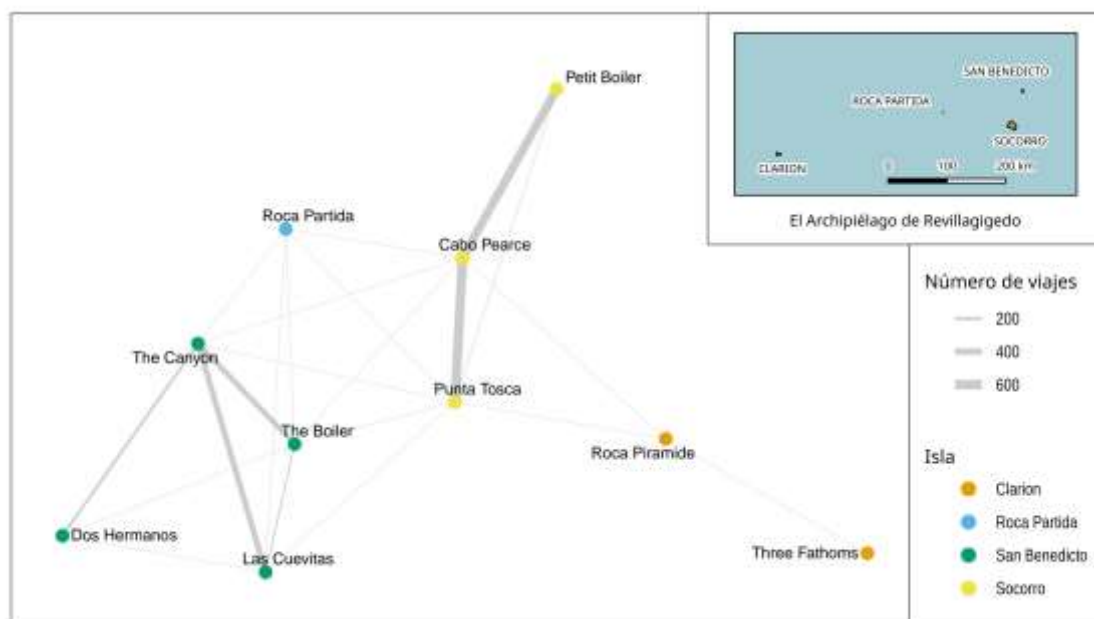
Entre los viajes entre islas registrados, varios de ellos fueron realizados por los mismos individuos repitiéndolos a lo largo de los años. En la Fig. 16 se representan cuatro individuos que presentan este patrón específico. Todos eran hembras adultas que pasaban la mayor parte de su tiempo en Roca Partida. Estas cuatro fueron detectadas en Roca Partida la mayoría del tiempo. Hicieron viajes cortos a San Benedicto o Socorro regularmente a lo largo de los años siguiendo un patrón: una vez al año, con el viaje de ida entre junio y septiembre, y el viaje de regreso entre septiembre y noviembre.





**Figura 16.** Gráficos individuales de las hembras adultas que han realizado viajes interinsulares.

La red completa, con bordes ponderados por el número de movimientos entre estaciones, constaba de 2376 movimientos entre 10 estaciones (Fig. 17). De estos movimientos, el 19% fueron unidireccionales (reciprocidad de red  $r = 0,81$ ). Las métricas de las subredes sugieren que las hembras eran en general más móviles que los machos. Mostraron un mayor uso del área de estudio con más movimientos, especialmente entre islas, y más conexiones entre estaciones, como lo reflejan sus métricas de red más altas (Tabla 7). Sus valores de número de borde  $e$ , de densidad media de nodos  $k$ , de densidad de borde  $e_d$  y de centralidad del vector propio  $c$  fueron todos más altos que los de los machos. Los juveniles realizaron un gran número de movimientos, pero sólo alrededor de su isla de marcado San Benedito (número de nodos  $n = 4$ , diámetro de la red  $d = 1$ ). Tiburones en transición, el grupo que incluye todos los tiburones juveniles marcados en Socorro, tiene la subred con el valor de reciprocidad más bajo ( $r = 0,72$ ). En sus años juveniles, estos tiburones solo viajaban alrededor de su isla de marcado, pero una vez que llegaron a la edad adulta, algunos de ellos empezaron a viajar a otras islas. La mayoría de estos movimientos fueron unidireccionales. Entre ellos, un macho y una hembra realizaron un movimiento unidireccional hasta isla más aislada, Clarion (ver también Anexo A2).



**Figura 17.** Análisis de redes de los movimientos realizados por tiburones puntas plateadas en el Archipiélago de Revillagigedo. El ancho de la línea corresponde al número de movimientos realizados y el color del punto corresponde a la isla donde está localizada la estación. El mapa representa las distancias reales que separan las islas.

**Tabla 7.** Métricas del análisis de red de movimientos entre estaciones realizados por tiburones punta plateada en el Archipiélago de Revillagigedo.

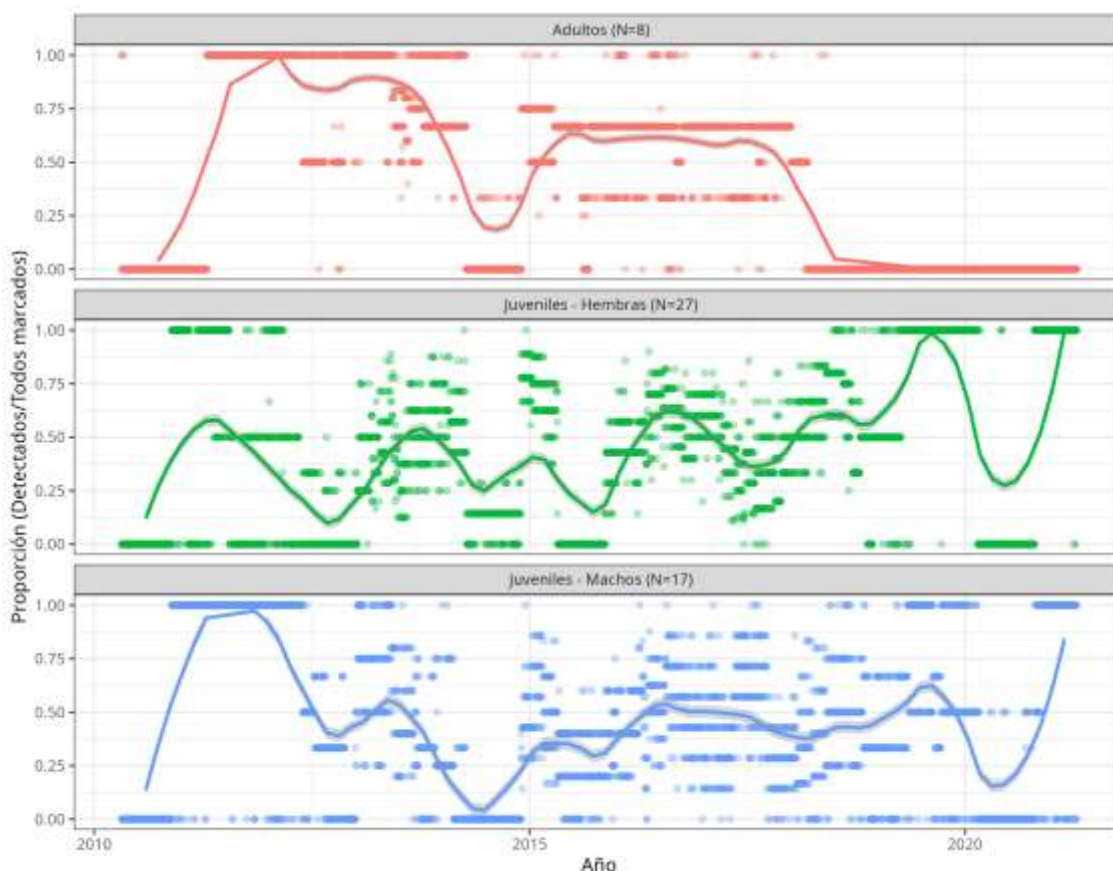
	Movimientos	Número de nodos $n$	Número de bordes $e$	Grado medio de nodo $k$	Reciprocidad $r$	Densidad de bordes $e_d$	Diámetro de la red $d$	Centralidad del vector propio $c$
Todos	2376	10	37	7.4	0.81	0.41	4	9.23
Hembras	1206	10	33	6.6	0.85	0.37	4	8.38
Machos	1169	10	21	4.2	0.76	0.23	4	5.48
Juveniles	828	4	12	6	1	1	1	6
En transición	1402	10	25	5	0.72	0.28	3	6.91
Adultos	146	6	17	5.7	0.82	0.57	4	6.27

## 7.7 Preferencias ambientales

### 7.7.1 Modelos MAG

Se observó una diferencia medianamente importante entre el número de tiburones marcados en un día determinado en el área de estudio y el número de tiburones detectados ese mismo día (Fig. 18). Este número puede oscilar entre 0 y 100 % con un promedio de 46.0 %. Lo que significa que, en promedio, cada día se detecta un poco menos de uno de cada dos tiburones marcados.

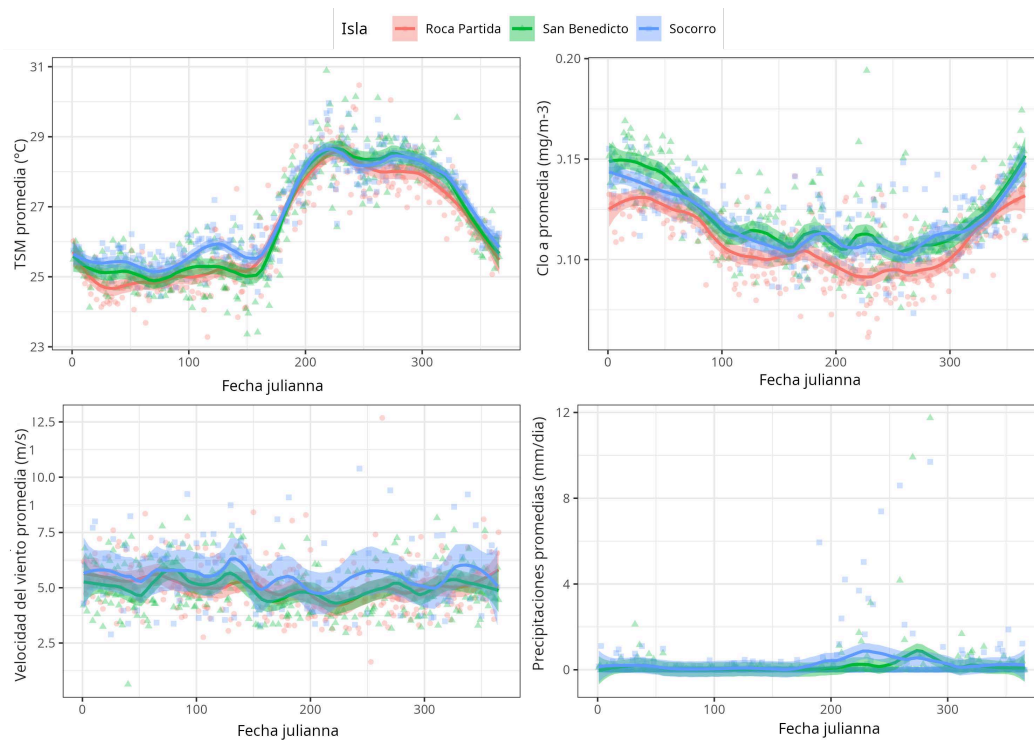
Para evaluar si la variabilidad ambiental influyó en la proporción de detecciones de tiburones en función de su sexo y estado, se probaron varios modelos MAG incluyendo diferentes parámetros ambientales (Fig. 19). Lamentablemente, el bajo número de adultos (2 machos y 6 hembras) no permitió obtener un modelo efectivo si se les separaba por sexo, por lo que se aplicó el modelo a todos los adultos agrupados. Sólo los juveniles fueron separados por sexo. Se utilizó el coeficiente de Akaike para determinar el mejor modelo. Todos los modelos probados incluyeron los mismos parámetros de clorofila a, TSM, año y fecha, independientemente del grupo estudiado (Tabla 8). La ecuación del modelo seleccionado explica significativamente entre el 15 y el 29 % de la varianza observada para los 3 grupos. En cuanto a los parámetros que influyen en el modelo, los juveniles son sensibles a los parámetros temporales (año y fecha en días julianos) y ambientales (clorofila a, TSM), mientras que los adultos solo son sensibles a los parámetros temporales. Aparte del hecho de que la desviación explicada por el modelo es menor para el grupo de juveniles machos que para el de juveniles hembras, no observamos diferencias en los parámetros que influyen en el modelo entre los dos sexos.



**Figura 18.** Proporción de tiburones punta plateada detectados cada día dentro del Archipiélago de Revillagigedo.

**Tabla 8.** Resultados del MAG sobre la influencia del ambiente en la probabilidad de detección del tiburón punta plateada dentro del Archipiélago de Revillagigedo.

			Adultos	Juveniles hembras	Juveniles machos
Número de individuos			8	27	17
Error estándar de la ecuación del modelo.			0.24	0.037	0.036
Valor z de la ecuación del modelo			-2.78	-21.73	-19.99
p-value de la ecuación del modelo			0.0054	<2e-16	<2e-16
Desviación explicada			25.70 %	29.10 %	15.10 %
Parámetros del modelo	TSM	df	1	2.99	1.00
		$\chi^2$	1.99	15.97	3.96
		p-value	0.16	0.0011	0.047
	Chl a	df	1	2.97	2.97
		$\chi^2$	0.031	28.06	11.03
		p-value	0.86	4.51e-06	0.016
	Año	df	7.42	8.99	8.78
		$\chi^2$	34.22	115.81	51.02
		p-value	2.34e-05	< 2e-16	< 2e-16
	Fecha juliana	df	8	8	8
		$\chi^2$	7.21	52.07	14.00
		p-value	0.0043	< 2e-16	0.0022



**Figura 19.** Parámetros ambientales a escala del año durante el período de monitoreo del tiburón punta plateada dentro del Archipiélago de Revillagigedo.

### 7.7.2 Eventos de huracanes

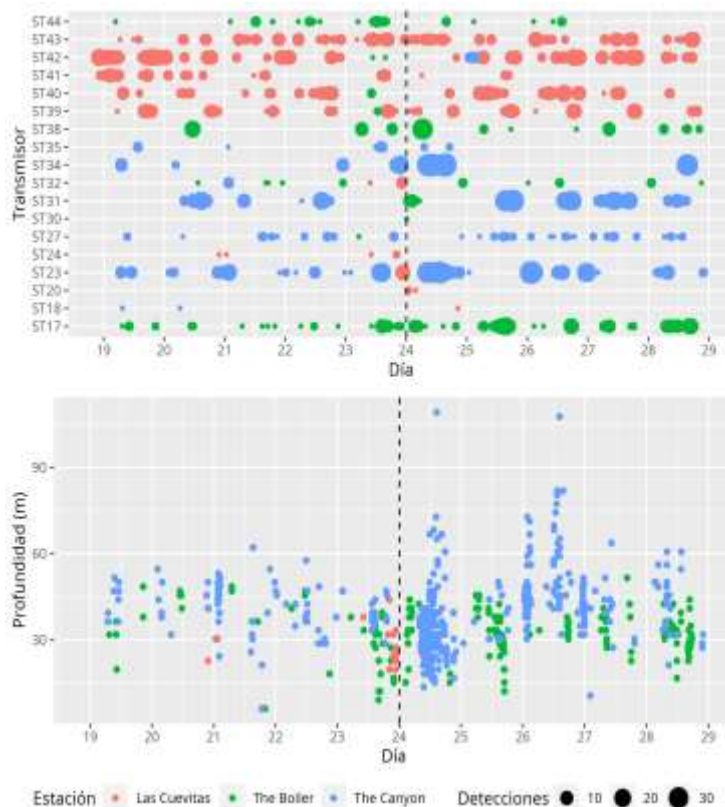
Cerca de las islas se registraron un total de 7 huracanes y tormentas tropicales (Tabla 9). De estos, 5 ocurrieron durante un período en el que solo se detectaron entre 0 y 2 tiburones alrededor de la isla y, por lo tanto, fueron excluidos del análisis. Finalmente, 2 tormentas impactaron a 18 y 11 tiburones respectivamente con efectos variables en los individuos. Fueron las tormentas “Frank” el 24 de julio de 2016 (Fig. 20) y “Dora” el 27 de junio de 2017 (Fig. 21). Algunos individuos parecen haber abandonado las estaciones mientras que otros no parecen haber cambiado su comportamiento. En cuanto a la distribución de la profundidad, no observamos ninguna variación, la mayoría de los tiburones todavía se mantuvieron entre 20 y 40 m.

Por lo tanto, si bien los datos sugieren que algunos eventos de huracanes y tormentas tropicales podrían tener un efecto para algunos individuos, para otros no parecen modificar su comportamiento.

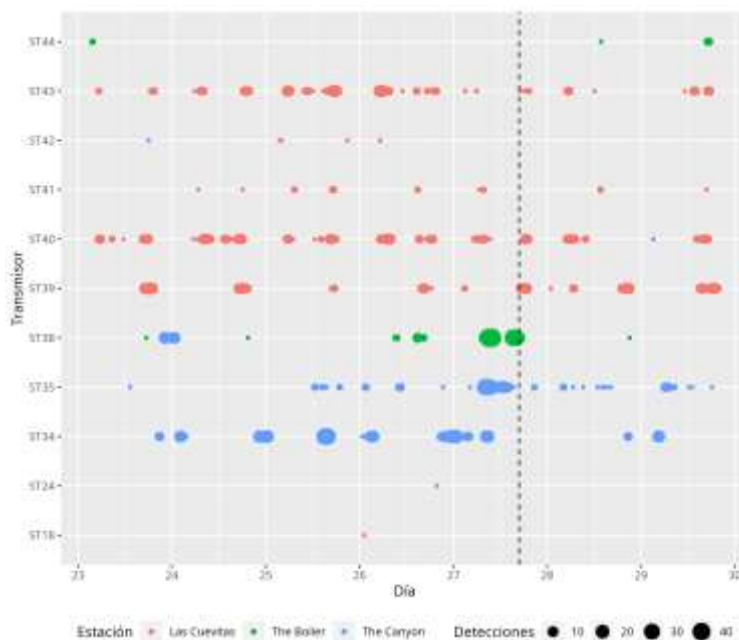
**Tabla 9.** Eventos de huracanes cerca del Archipiélago de Revillagigedo.

<b>Isla</b>	<b>Nombre del huracán</b>	<b>Distancia desde la isla (km)</b>	<b>Fecha y hora</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Clasificación<sup>1</sup></b>	<b>Número de tiburones alrededor de la isla.</b>
Socorro	Eleven	0	05-08-2014 04h	1006	TS	0
	Norbert	10	13-10-2020 15h	1006	TS	0
San Benedicto	Frank	0	24-07-2016 0h	994	TS	18
	Dora	0	27-06-2017 19h	995	TS	11
Roca Partida	Frank	10	27-08-2010 17h	994	H1	0
	Tina	10	16-11-2016 7h	1011	TS	2
Clarión	Ivo	10	23-08-2019 12h	992	TS	1

Notas. <sup>1</sup>Clasificación (fuerza creciente): TS – Tormenta Tropical; H1 – Huracán clase 1



**Figura 20.** Presencia horaria de tiburones punta plateada alrededor de San Benedicto en julio de 2016. El panel inferior muestra los registros de profundidad de los 4 tiburones (ST17, ST23, ST24, ST27) equipados con transmisores V16P. La línea vertical discontinua representa la llegada a tierra de la tormenta tropical "Frank".



**Figura 21.** Presencia horaria de tiburones punta plateada alrededor de San Benedicto en junio de 2017. La línea vertical discontinua representa la llegada a tierra de la tormenta tropical "Dora".

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Escala del estudio

Este es el primer estudio sobre los patrones de movimiento de los tiburones punta plateada en un archipiélago aislado, con islas separadas por diferentes distancias sobre las aguas profundas del OPOT. Los resultados obtenidos muestran que los tiburones punta plateada adultos son capaces de viajar largas distancias. De los 40 tiburones que fueron seguidos, sólo 11 fueron detectados en al menos dos islas diferentes durante todo el periodo de seguimiento. Las dos islas más cercanas, San Benedicto y Socorro, están separadas por 60 km. Roca Partida está a 120 km de Socorro y a 145 km de San Benedicto y la isla de Clarión está ubicada a 300 km al oeste de Roca Partida. En cambio, en la GBC, 71 % de los tiburones punta plateada seguidos han sido detectados en dos arrecifes o más (Espinoza *et al.*, 2015b); no obstante, la zona de estudio medía menos de 150 km de largo y los arrecifes están separados por 20 km o menos.

Las Islas Revillagigedo están separadas por distancias mayores y en aguas mucho más profundas (1000–5000 m; Becerril-García *et al.*, 2020) que las aguas que separan la GBC (40–60 m). El estudio de Espinoza *et al.* (2015b) manejó distancias menores, lo que puede explicar la diferencia en la proporción de tiburones que se movieron entre las islas respecto a este estudio. Asimismo, el estudio de Bonnin *et al.* (2023) en Nueva Caledonia a una escala de 500 km mostró resultados similares a los del presente trabajo en términos de residencia y de movilidad más elevada para los adultos con respecto a los juveniles.

### 8.2 Tiempo sin detección

Entre los 45 individuos marcados para este estudio, algunos tuvieron un tiempo de seguimiento muy corto (hasta una semana) o nunca fueron detectados en la zona de estudio. La mortalidad natural es una posibilidad y podría explicar en cierta medida este esquema, sobre todo porque los juveniles de esta especie no son muy móviles. La mortalidad por pesca es poco probable porque el archipiélago es una zona protegida, donde la pesca está prohibida. El movimiento fuera del archipiélago es una posibilidad poco probable, sobre todo para los juveniles porque el archipiélago está muy aislado. Además, otros receptores acústicos estuvieron presentes en el momento del estudio en el atolón de Clipperton (relativamente cercano), y ningún tiburón punta plateada marcado en Revillagigedo ha sido detectado allí. Finalmente, los receptores han sido ubicados en torno a



las cuatro islas del archipiélago y, con excepción de Roca Partida, su alcance de detección no puede cubrir todo el perímetro de las islas. Los individuos pueden pasar inadvertidos durante largos periodos incluso sin haber abandonado la periferia de la isla (Chapman *et al.*, 2005; Heupel *et al.*, 2010). Este fue probablemente el caso para ciertos tiburones durante este estudio, en particular los que no han sido detectados más que en una sola isla.

### **8.3 Residencia**

De los 40 tiburones monitoreados en este estudio, sólo 4 fueron detectados en una sola estación (es decir, el 10 %), mientras que el 90 % restante se desplazaron entre, al menos, dos estaciones. Se registraron varios cientos de viajes dentro de las islas, a pesar de la cobertura limitada de la red de receptores, lo que provocó lagunas en la detección y una subestimación de sus movimientos. Los individuos pueden pasar desapercibidos durante largos períodos hasta que abandonan el área de estudio/periferia de la isla (Chapman *et al.*, 2005; Heupel *et al.*, 2010). Aparte de estos movimientos, los tiburones rastreados mostraron una alta fidelidad al sitio, con el 85 % de los tiburones detectados más del 70 % del tiempo en una sola estación, haciendo sólo breves incursiones a otras estaciones. Esta fidelidad ha sido observada de manera similar en otras especies de elasmobranchios como el tiburón martillo común (Ketchum *et al.*, 2014; Aldana-Moreno *et al.*, 2020), igualmente presente en el Archipiélago de Revillagigedo.

### **8.4 Variaciones ontogénicas**

Los resultados del presente estudio muestran que los juveniles tienen una menor amplitud de movimiento que los adultos y que ninguno de ellos fue detectado fuera de su isla de marcado. Este resultado podría ser debido a diferencias en las necesidades energéticas. Los tiburones grandes tienen generalmente necesidades energéticas más elevadas que los pequeños (Carlson *et al.*, 2004; Espinoza *et al.*, 2015a) y, por consiguiente, su espacio de actividad tiende a aumentar a medida que crecen (Papastamatiou *et al.*, 2009; Grubbs, 2010) para encontrar más presas potenciales. La exposición directa al océano abierto en Roca Partida favorece la presencia de peces pelágicos de nivel trófico superior que el de los arrecifes en las otras islas del Archipiélago de Revillagigedo (Fourrière *et al.*, 2019). Viajar a otra isla aumenta la exposición al riesgo de depredación de los juveniles (Hoyos-Padilla *et al.*, 2014). En este estudio, únicamente se observaron tres machos, marcados como juveniles, fuera de su isla de marcaje una vez que alcanzaron la edad adulta. Asimismo, un estudio sobre los marcadores tróficos (isótopos estables del carbono  $\delta^{13}$  y del azote  $\delta^{15}$ ) ha

sugerido una conectividad trófica limitada entre los sitios para los juveniles de tiburones punta plateada en el Archipiélago de Revillagigedo, lo que sugiere que esta población se alimenta tanto en redes tróficas bénticas como pelágicas alrededor de su isla de nacimiento, probablemente debido a la diversidad del hábitat, registrando valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más débiles y de  $\delta^{15}\text{A}$  más elevados que los tiburones que se alimentan únicamente de presas pelágicas (Le Croizier *et al.*, 2020).

La distribución de los tiburones entre las islas parece estar fuertemente correlacionado con la edad. Roca Partida resguarda únicamente tiburones subadultos y adultos, que en su mayoría son hembras grandes. Es una zona muy rica en presas (Fourrière *et al.*, 2019), pero también están presentes adultos de otras especies de tiburones de tamaño comparable, como el tiburón Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*). Su presencia puede suponer un alto riesgo de depredación para los juveniles y podría explicar por qué no han sido observados en esta zona. Al contrario, los juveniles se encuentran mayoritariamente alrededor de la isla de San Benedicto (29 juveniles de los 36 marcados) donde pueden quedarse más de 5 años. Sin embargo, aunque los juveniles son más comunes, también se pueden encontrar algunos tiburones adultos alrededor de las islas San Benedicto y Socorro. Un macho adulto marcado en San Benedicto permaneció allí durante 5 años, lo que significa que San Benedicto puede igualmente proporcionar el alimento suficiente para responder a las necesidades energéticas de un tiburón adulto.

### **8.5 Movimientos diurnos**

Los resultados de la baliza centinela, con una distribución horaria no homogénea, mostraron que las condiciones ambientales interferían en la transmisión de señales acústicas en las aguas del archipiélago y provocaban una menor eficiencia de detección durante la noche. Por tanto, se corrigió la distribución temporal de las detecciones de tiburones para eliminar esta interferencia.

Igual que otras especies de tiburones, como el cazón negro (*Negaprion acutidens*; Byrnes *et al.*, 2021), el tiburón punta negra (*Carcharhinus limbatus*; Legare *et al.*, 2018) y los tiburones de arrecife del Caribe (*Carcharhinus perezii*; Chapman *et al.*, 2007), los tiburones puntas plateadas han mostrado fuertes movimientos diarios. Como los receptores están situados cerca de las estaciones de limpieza, un número elevado de detecciones puede

corresponder a un período de baja actividad. Una mayor actividad, como por ejemplo la búsqueda de alimento, daría como resultado una disminución de las detecciones porque el tiburón sería más móvil y podría salir del alcance del receptor.

En este estudio, el mayor número de detecciones se produjo cerca del amanecer y el atardecer. Este resultado también se observó en la población de la GBC (Espinoza *et al.*, 2015b). Los tiburones se alejan de las estaciones tanto en la noche como en el día, este resultado podría explicarse por razones tróficas. Como se ha demostrado que los tiburones punta plateada se alimentan de una variedad de especies de redes alimentarias tanto benthicas como pelágicas (Curnick *et al.*, 2019; Le Croizier *et al.*, 2020), es posible que estén aprovechando la diferente disponibilidad de presas entre el estado diurno y la profundidad para aumentar las oportunidades de alimentación (Sims *et al.*, 2006; Vianna *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2015b).

### **8.6 Movimientos verticales**

Los doce tiburones equipados con transmisores V16P, sensibles a la presión, permitieron analizar patrones diarios en los movimientos verticales dentro del alcance del receptor. Los tiburones punta plateada son detectados principalmente en las aguas menos profundas durante la noche y se desplazan hacia las aguas más profundas durante el día. Este comportamiento ha sido igualmente observado en otros estudios sobre los tiburones punta plateada (Bond *et al.*, 2015; Espinoza *et al.*, 2015b; Tickler *et al.*, 2023) y los tiburones grises de arrecife (Vianna *et al.*, 2013), donde estos patrones de migración vertical fueron atribuidos a la búsqueda de alimento o para conservación de la energía; las aguas más profundas y frías podrían permitir un menor gasto energético para termorregulación durante las horas más calurosas del día (Sims *et al.*, 2006).

Adicionalmente, dado que los tiburones punta plateada se alimentan de una variedad de especies tanto bentónicas como pelágicas (Le Croizier *et al.*, 2020), el movimiento vertical podría permitirles aprovechar la disponibilidad de presas entre el estado diario y la profundidad para aumentar las oportunidades de alimentación (Sims *et al.*, 2006; Vianna *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2015b). Otra posible explicación para este comportamiento fue sugerida en Tickler *et al.* (2023), ya que los tiburones punta plateada tienen una preferencia térmica de 26-27°C y ajustan su profundidad para permanecer en aguas de la temperatura

correspondiente. También observaron una influencia de la estación, el estado diario y la fase lunar en el uso de la profundidad, lo que fue consistente con nuestros propios resultados.

### **8.7 Movimientos interinsulares**

En general, se encontró que las hembras mostraban una mayor movilidad que los machos, como lo demuestra su mayor grado medio y valor de vector propio en el análisis de redes. De los 11 tiburones que se movieron entre las islas, 7 fueron hembras adultas. Estos movimientos de larga distancia han sido igualmente registrados para otras especies de tiburones del género *Carcharhinus* y se ha sugerido que podrían explicarse por razones de reproducción (Chin *et al.*, 2013; Mourier *et al.*, 2013; Heupel *et al.*, 2015). Entre los movimientos de 4 de las 7 hembras viajeras, se observaron breves incursiones de manera repetitiva a lo largo de los años de Roca Partida hacia las islas de San Benedicto y Socorro, donde se observaron numerosos juveniles y algunos recién nacidos con cicatriz umbilical (Mauricio Hoyos-Padilla, comunicación personal). Esto podría sugerir que estos viajes son para el parto. Lo que podría corroborar esta hipótesis es que también observábamos en Roca Partida tiburones adultos con cicatrices de apareamiento, y una hembra preñada (comprobada con ecografía) en febrero.

Un comportamiento similar ha sido observado para esta especie en la GBC, donde ciertos individuos de los dos sexos han efectuado viajes cortos lejos del arrecife donde fueron marcados antes de volver (Espinoza *et al.*, 2015a). Al contrario, en Nueva Caledonia tal movilidad estacional incrementada no ha sido observada en machos adultos (Bonnin *et al.*, 2023). Esta diferencia podría explicarse por el tamaño del muestreo ya que este último estudio solo contaba con 2 hembras adultas marcadas, o bien por diferencias de hábitat entre Nueva Caledonia y el Archipiélago de Revillagigedo. Las costas de Nueva Caledonia poseen una barrera coralina y varias lagunas y atolones que podrían constituir zonas seguras con escondites para los juveniles. Mientras que, en Revillagigedo, Roca Partida es una zona rica en presas, lo que atrae a muchos depredadores adultos (Klimley *et al.*, 2022). Al ser la parte emergente de un monte submarino aislado, las aguas que rodean esta isla son muy profundas. Para los juveniles, la zona no ofrecería condiciones seguras porque existe una fuerte presión por parte de los depredadores y poco resguardo. Por lo tanto, estas condiciones podrían explicar por qué las hembras preñadas de Revillagigedo se trasladarían a otras islas más seguras como San Benedicto y Socorro para dar a luz. San Benedicto y

Socorro comparten características similares: áreas de aguas tranquilas y poco profundas con características topográficas que brindan refugio, abundancia de presas y un bajo número de depredadores. Además, las distancias en Nueva Caledonia que separan las islas/atolones son más pequeñas y menos profundas que en Revillagigedo. Dadas estas diferencias, la población de tiburones puntas plateadas de Nueva Caledonia puede tener una estrategia reproductiva diferente a la de Revillagigedo. Serían necesarios más estudios para comprender los patrones de reproducción de esta especie en el archipiélago.

### **8.8 Preferencias ambientales**

La influencia del medio ambiente en la probabilidad de detección de tiburones varía mucho según la etapa ontogenética. Los adultos solo fueron sensibles a parámetros temporales, mientras que los juveniles también fueron sensibles a dos parámetros ambientales: temperatura y producción primaria, representada por el nivel de clorofila a. Esto sugiere que estas variables pueden influir en la selección de hábitat de los tiburones juveniles puntas plateadas. Las áreas de alta productividad primaria tienden a agrupar especies de presas, aumentando así las oportunidades de búsqueda de alimento para especies de nivel trófico superior (Benoit-Bird y McManus, 2012). Las áreas donde los tiburones areneros pueden optimizar tanto la preferencia de temperatura como el éxito de su búsqueda de alimento son probablemente los hábitats más importantes (Bangley *et al.*, 2020). Este resultado se encontró de manera similar en tiburones oscuros (*Carcharhinus obscurus*) juveniles (Bangley *et al.*, 2020).

La influencia de las tormentas ha sido demostrada en otras especies del género *Carcharhinus* donde tienden a provocar conductas de evitación en los individuos (Heupel *et al.*, 2003; Udyawer *et al.*, 2013). Estos estudios involucraron principalmente a individuos que se fueron de bahías poco profundas (3 – 10 m) hacia mayores profundidades. En el área de estudio del presente trabajo la batimetría es muy diferente, se pueden detectar tiburones hasta a 90 m de profundidad sin salir del rango de la estación. Esto podría explicar por qué la conducta de evitación es mucho menos marcada en nuestro estudio y afecta sólo a unos pocos individuos.

## 9. CONCLUSIONES

La UICN clasificó a los tiburones punta plateada como vulnerables en 2015, basándose en la disminución general de la población en más del 30 % en tres generaciones, principalmente debido a la presión pesquera (Espinoza *et al.*, 2021). Este es el primer estudio de telemetría a largo plazo (más de 10 años) de tiburones punta plateada en un archipiélago aislado en el OPOT. Este estudio demostró que los tiburones punta plateada tienen una alta fidelidad al sitio y exhiben fuertes patrones diurnos. Existe segregación ontogenética geográfica dentro del archipiélago con los juveniles presentes solo alrededor de las islas de San Benedicto y Socorro y marchándose únicamente cuando alcanzan la edad adulta. Estos tiburones son capaces de realizar movimientos a gran escala, realizados principalmente por hembras sexualmente maduras, lo que podría sugerir que el parto ocurre preferencialmente en San Benedicto y Socorro. Sin embargo, se necesitan nuevos estudios para comprender mejor la estrategia reproductiva de esta especie. El Archipiélago de Revillagigedo, al ser un área marina protegida donde la pesca está prohibida, permite a los científicos comprender el comportamiento de la especie sin interferencias de la presión pesquera. Esta información puede ser útil para mejorar la gestión y conservación de esta especie vulnerable en áreas de su distribución donde no está protegida, ya que no existen medidas de conservación específicas en otras partes del OPOT (Espinoza *et al.*, 2021).

## 10. LITERATURA CITADA

- Aldana Moreno, A. (2020). Movimientos, residencia y preferencias ambientales del tiburón martillo en dos archipiélagos: Revillagigedo y Espíritu Santo, México. Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz B.C.S.
- Aldana-Moreno, A., Hoyos-Padilla, EM., González-Armas, R., Galván-Magaña, F., Hearn, A., Klimley, AP., Winram, W., Becerril-García, EE. y Ketchum, JT. (2020). Residency and diel movement patterns of the endangered scalloped hammerhead *Sphyrna lewini* in the Revillagigedo National Park. *Journal of fish biology*, 96(2): 543-548
- Arnaud, G., Rodríguez, A., Álvarez-Cárdenas, S., Ortega-Rubio, A. y Castellanos-Vera, A. (1994). La isla Socorro, reserva de la Biosfera Archipelago de Revillagigedo, Mexico. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste SC, La Paz B.C.S, México. ISBN: 968-6837-06-X
- Aubrey, FT., Leatherwood, S., Mitchell, ED. y Rogers, W. (1985). Nesting green sea turtles (*Chelonia mydas*) on Isla Clarion, Islas Revillagigedo, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 83: 69-75
- Baayen, RH., Davidson, DJ. y Bates, DM. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of memory and language*, 59(4): 390-412
- Bangley, CW., Curtis, TH., Secor, DH., Latour, RJ. y Ogburn, MB. (2020). Identifying important juvenile Dusky Shark habitat in the northwest Atlantic Ocean using acoustic telemetry and spatial modeling. *Marine and Coastal Fisheries*, 12(5): 348-363
- Barnett, A., Abrantes, KG., Seymour, J. y Fitzpatrick, R. (2012). Residency and spatial use by reef sharks of an isolated seamount and its implications for conservation. *PloS one*, 7(5): 12
- Bass, AJ. (1973). Sharks of the east coast of southern Africa. I. The genus *Carcharhinus* (Carcharhinidae). *South African Association for Marine Biology Research, Investigation Report*, 33: 8-9 and 49-55
- Becerril-García, EE., Hoyos-Padilla, EM., Henning, B. y Salinas-De León, P. (2020). Sharks, rays, and chimaeras of the Revillagigedo National Park: An update of new and confirmed records. *Journal of Fish Biology*, 97(4): 1228-1232
- Benoit-Bird, KJ. y McManus, MA. (2012). Bottom-up regulation of a pelagic community through spatial aggregations. *Biology Letters*, 8(5): 813-816
- Bond, ME., Tolentino, E., Mangubhai, S. y Howey, LA. (2015). Vertical and horizontal movements of a silvertip shark (*Carcharhinus albimarginatus*) in the Fijian archipelago. *Animal Biotelemetry*, 3(1): 1-7
- Bonnin, L., Boussarie, G., Kiszka, JJ., Robbins, W. y Vigliola, L. (2023). Individual and seasonal variations of space use in silvertip sharks, *Carcharhinus albimarginatus*. *Coral Reefs*, 42(1): 261-269. doi: 10.1007/s00338-022-02332-w
- Brattstrom, BH. (1990). Biogeography of the Islas Revillagigedo, Mexico. *Journal of Biogeography*, : 177-183
- Byrnes, EE., Daly, R., Leos-Barajas, V., Langrock, R. y Gleiss, AC. (2021). Evaluating the constraints governing activity patterns of a coastal marine top predator. *Marine Biology*, 168(1): 1-15
- Carballido-Sánchez, EA. (1994). The geology and petrology of Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. Tulane University
- Carlisle, AB., Tickler, D., Dale, JJ., Ferretti, F., Curnick, DJ., Chapple, TK., Schallert, RJ., Castleton, M. y Block, BA. (2019). Estimating space use of mobile fishes in a large marine protected area with methodological considerations in acoustic array design. *Frontiers in Marine Science*, 6: 256

- Carlson, JK., Goldman, KJ. y Lowe, CG. (2004). Metabolism, energetic demand, and endothermy. En: *Biology of sharks and their relatives* CRC press Boca Raton, pp 269-286
- Castro-Aguirre, JL. y Balart, EF. (2002). La ictiofauna de las islas Revillagigedo y sus relaciones zoogeográficas, con comentarios acerca de su origen y evolución. Universidad Autónoma de Nueva León, Monterrey, México. ISBN: 970-694-100-2
- Chapman, DD., Pritchard, EK., Babcock, E. y Shivji, MS. (2005). Marine reserve design and evaluation using automated acoustic telemetry: a case-study involving coral reef-associated sharks in the Mesoamerican Caribbean. *Marine Technology Society Journal*, 39(1): 42-55
- Chapman, DD., Pritchard, EK., Babcock, EA. y Shivji, MS. (2007). Deep-diving and diel changes in vertical habitat use by Caribbean reef sharks *Carcharhinus perezii*. *Marine Ecology Progress Series*, 344: 271-275
- Chin, A., Tobin, AJ., Heupel, MR. y Simpfendorfer, CA. (2013). Population structure and residency patterns of the blacktip reef shark *Carcharhinus melanopterus* in turbid coastal environments. *Journal of Fish Biology*, 82(4): 1192-1210
- Compagno, L. y Fowler, SL. (2005). A field guide to the sharks of the world. Collins, London, United Kingdom. ISBN: 0-691-12072-2
- CONANP. (2017). Estudio previo justificativo para la declaratoria del Parque Nacional Revillagigedo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
- Curnick, DJ., Carlisle, AB., Gollock, MJ., Schallert, RJ. y Hussey, NE. (2019). Evidence for dynamic resource partitioning between two sympatric reef shark species within the British Indian Ocean Territory. *Journal of Fish Biology*, 94(4): 680-685
- Daly, R., Filmlalter, JD., Daly, CA., Bennett, RH., Pereira, MA., Mann, BQ., Dunlop, SW. y Cowley, PD. (2019). Acoustic telemetry reveals multi-seasonal spatiotemporal dynamics of a giant trevally *Caranx ignobilis* aggregation. *Marine Ecology Progress Series*, 621: 185-197
- Del Moral-Flores, LF., Negrete, JMG. y Camacho, AFG. (2016). Peces del archipiélago de las islas Revillagigedo: una actualización sistemática y biogeográfica. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 9(33): 596-619
- Dulvy, NK., Fowler, SL., Musick, JA., Cavanagh, RD., Kyne, PM., Harrison, LR., Carlson, JK., Davidson, LN., Fordham, SV. y Francis, MP. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*, 3: e00590. doi: 10.7554/eLife.00590
- Dunn, N., Curnick, DJ., Carbone, C., Carlisle, AB., Chapple, TK., Dowell, R., Ferretti, F., Jacoby, DM., Schallert, RJ. y Steyaert, M. (2023). Environmental DNA helps reveal reef shark distribution across a remote archipelago. *Ecological Indicators*, 154: 110718
- Espinoza, M., González-Medina, E., Dulvy, NK. y Pillans, RD. (2021). *Carcharhinus albimarginatus* (amended version of 2016 assessment). In: The IUCN Red List of Threatened Species 2021. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T161526A205781867.en>. [consulta: 6 mayo 2023]
- Espinoza, M., Heupel, MR., Tobin, AJ. y Simpfendorfer, CA. (2015a). Movement patterns of silvertip sharks (*Carcharhinus albimarginatus*) on coral reefs. *Coral Reefs*, 34(3): 807-821
- Espinoza, M., Lédée, EJ., Simpfendorfer, CA., Tobin, AJ. y Heupel, MR. (2015b). Contrasting movements and connectivity of reef-associated sharks using acoustic telemetry: implications for management. *Ecological Applications*, 25(8): 2101-2118
- Ferretti, F., Curnick, D., Liu, K., Romanov, EV. y Block, BA. (2018). Shark baselines and the conservation role of remote coral reef ecosystems. *Science Advances*, 4(3): eaaq0333
- Fiedler, PC. y Talley, LD. (2006). Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4): 143-180



- Flávio, H. y Baktoft, H. (2021). actel: Standardised analysis of acoustic telemetry data from animals moving through receiver arrays. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(1): 196-203
- Fourrière, M., Reyes-Bonilla, H., Galván-Villa, CM., Ayala Bocos, A. y Alejandro Rodríguez-Zaragoza, F. (2019). Reef fish structure assemblages in oceanic islands of the eastern tropical Pacific: Revillagigedo Archipelago and Clipperton atoll. *Marine Ecology*, 40(3): e12539. doi: 10.1111/maec.12539
- Fox, J. (2003). Effect displays in R for generalised linear models. *Journal of statistical software*, 8: 1-27. doi: 10.18637/jss.v008.i15
- Graham, NA., Spalding, MD. y Sheppard, CR. (2010). Reef shark declines in remote atolls highlight the need for multi-faceted conservation action. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*, 20(5): 543-548
- Green, M., Appleyard, S., White, W., Tracey, S., Devloo-Delva, F. y Ovenden, J. (2019). Novel multimarker comparisons address the genetic population structure of silvertip sharks (*Carcharhinus albimarginatus*). *Marine and Freshwater Research*, 70(7): 1007-1019
- Grubbs, RD. (2010). Ontogenetic shifts in movements and habitat use. En: *Sharks and their relatives II: biodiversity, adaptive physiology, and conservation*, Jeffrey C. Carrier, John A. Musick, Michael R. Heithaus ed. pp 335-366
- Hearn, A., Ketchum, J., Klimley, AP., Espinoza, E. y Penaherrera, C. (2010). Hotspots within hotspots? hammerhead shark movements around wolf island, galapagos marine reserve. *Marine Biology*, 157(9): 1899-1915
- Heithaus, MR., Frid, A., Wirsing, AJ. y Worm, B. (2008). Predicting ecological consequences of marine top predator declines. *Trends in ecology & evolution*, 23(4): 202-210
- Heupel, MR., Simpfendorfer, CA., Espinoza, M., Smoothey, AF., Tobin, A. y Peddemors, V. (2015). Conservation challenges of sharks with continental scale migrations. *Frontiers in Marine Science*, 2: 12
- Heupel, MR., Simpfendorfer, CA. y Fitzpatrick, R. (2010). Large-scale movement and reef fidelity of grey reef sharks. *PloS one*, 5(3): e9650
- Heupel, MR., Simpfendorfer, CA. y Hueter, RE. (2003). Running before the storm: blacktip sharks respond to falling barometric pressure associated with Tropical Storm Gabrielle. *Journal of fish biology*, 63(5): 1357-1363
- Hoyos-Padilla, EM., Ketchum, JT., Klimley, AP. y Galván-Magaña, F. (2014). Ontogenetic migration of a female scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Gulf of California. *Animal Biotelemetry*, 2: 1-9
- Hoyos-Padilla, EM., Klimley, AP., Galván-Magaña, F. y Antoniou, A. (2016). Contrasts in the movements and habitat use of juvenile and adult white sharks (*Carcharodon carcharias*) at Guadalupe Island, Mexico. *Animal Biotelemetry*, 4(1): 14. doi: 10.1186/s40317-016-0106-7
- Jacoby, DM., Brooks, EJ., Croft, DP. y Sims, DW. (2012). Developing a deeper understanding of animal movements and spatial dynamics through novel application of network analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3): 574-583
- Jacoby, DM., Ferretti, F., Freeman, R., Carlisle, AB., Chapple, TK., Curnick, DJ., Dale, JJ., Schallert, RJ., Tickler, D. y Block, BA. (2020). Shark movement strategies influence poaching risk and can guide enforcement decisions in a large, remote marine protected area. *Journal of Applied Ecology*, 57(9): 1782-1792
- Ketchum, J., Hearn, A., Shillinger, G., Espinoza, E., Peñaherrera, C. y Klimley, P. (2009). Shark movements and the design of protected pelagic environments within and beyond the Galapagos Marine Reserve. En: *Proceedings of the Galapagos Science Symposium*, Puerto Ayora pp 127-130

- Ketchum, JT. (2011). Movement patterns and habitat use of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) in the Galapagos Islands: Implications for the design of marine reserves. University of California, Davis
- Ketchum, JT., Hearn, A., Klimley, AP., Peñaherrera, C., Espinoza, E., Bessudo, S., Soler, G. y Arauz, R. (2014). 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(4): 939-951
- Ketchum, JT., Hoyos-Padilla, M., Aldana-Moreno, A., Ayres, K., Galván-Magaña, F., Hearn, A., Lara-Lizardi, F., Muntaner-López, G., Grau, M., Trejo-Ramírez, A., Whitehead, DA. y Klimley, AP. (2020). Shark movement patterns in the Mexican Pacific: A conservation and management perspective. En: Lowry D, Larson SE (eds) *Advances in Marine Biology* Academic Press, pp 1-37
- Kohler, NE. y Turner, PA. (2001). Shark Tagging: A Review Of Conventional Methods and Studies. *Environmental Biology of Fishes*, 60(1): 191-224. doi: 10.1023/A:1007679303082
- Lara-Lizardi, F., Hoyos-Padilla, M., Hearn, A., Klimley, AP., Galván-Magaña, F., Arauz, R., Bessudo, S., Castro, E., Clua, E., Espinoza, E., Fischer, C., Peñaherrera-Palma, C., Steiner, T. y Ketchum, JT. (2020). Shark movements in the Revillagigedo Archipelago and connectivity with the Eastern Tropical Pacific. *bioRxiv*, : 2020.03.02.972844. doi: 10.1101/2020.03.02.972844
- Lara-Lizardi, F., Hoyos-Padilla, M., Ketchum, JT. y Galván-Magaña, F. (2018). Range expansion of the whitenose shark, *Nasolamia velox*, and migratory movements to the oceanic Revillagigedo Archipelago (west Mexico). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(4): 949-953
- Last, PR. y Stevens, JD. (2009). *Sharks and rays of Australia*. , Second Edition ed. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. ISBN: 978-0-643-09457-4
- Le Croizier, G., Lorrain, A., Schaal, G., Ketchum, J., Hoyos-Padilla, M., Besnard, L., Munaron, J-M., Le Loc'h, F. y Point, D. (2020). Trophic resources and mercury exposure of two silvertip shark populations in the Northeast Pacific Ocean. *Chemosphere*, 253: 126645
- Legare, B., Skomal, G. y DeAngelis, B. (2018). Diel movements of the blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*) in a Caribbean nursery. *Environmental Biology of Fishes*, 101: 1011-1023
- Llinas-Gutierrez, J., Lluch-Cota, D., Castellanos, A., Ortega-Rubio, A. y González, NE. (1993). La Isla Socorro, Revillagigedo. *Biodiversidad marina y costera de México Comisión Nacional de Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México*, : 520-534
- Lowe, CG., Wetherbee, BM., Crow, GL. y Tester, AL. (1996). Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in Hawaiian waters. *Environmental Biology of Fishes*, 47(2): 203-211
- Miranda, F., Adem, J., Cobo, E., Blásquez, L., Villalobos, A., Herrera, T., Villa, B. y Vázquez, L. (1960). La Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo. *Monografías del Instituto de Geofísica /2, Universidad Nacional Autónoma de México*, : 126
- Mourier, J., Mills, SC. y Planes, S. (2013). Population structure, spatial distribution and life-history traits of blacktip reef sharks *Carcharhinus melanopterus*. *Journal of fish biology*, 82(3): 979-993
- O'Shea, OR., Kingsford, MJ. y Seymour, J. (2010). Tide-related periodicity of manta rays and sharks to cleaning stations on a coral reef. *Marine and Freshwater Research*, 61(1): 65-73
- Papastamatiou, YP., Lowe, CG., Caselle, JE. y Friedlander, AM. (2009). Scale-dependent effects of habitat on movements and path structure of reef sharks at a predator-dominated atoll. *Ecology*, 90(4): 996-1008

- Papastamatiou, YP., Meyer, CG., Carvalho, F., Dale, JJ., Hutchinson, MR. y Holland, KN. (2013). Telemetry and random-walk models reveal complex patterns of partial migration in a large marine predator. *Ecology*, 94(11): 2595-2606
- Papastamatiou, YP., Meyer, CG., Kosaki, RK., Wallsgrave, NJ. y Popp, BN. (2015). Movements and foraging of predators associated with mesophotic coral reefs and their potential for linking ecological habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 521: 155-170
- Patterson, TA., Thomas, L., Wilcox, C., Ovaskainen, O. y Matthiopoulos, J. (2008). State-space models of individual animal movement. *Trends in ecology & evolution*, 23(2): 87-94
- Payne, NL., Gillanders, BM., Webber, DM. y Semmens, JM. (2010). Interpreting diel activity patterns from acoustic telemetry: the need for controls. *Marine Ecology Progress Series*, 419: 295-301
- QGIS Development Team, AE. (2021). QGIS geographic information system Open Source Geospatial Foundation. Open source geospatial foundation project
- R.Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing
- Ricker, KE. (1959). Fishes collected from the Revillagigedo Islands during the 1954-1958 cruises of the "Marijean". Institute of Fisheries, University of British Columbia
- Rizzari, JR., Frisch, AJ. y Magnenat, KA. (2014). Diversity, abundance, and distribution of reef sharks on outer-shelf reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Marine biology*, 161(12): 2847-2855
- Roff, G., Brown, CJ., Priest, MA. y Mumby, PJ. (2018). Decline of coastal apex shark populations over the past half century. *Communications Biology*, 1(1): 1-11
- Royer, F., Fromentin, J-M. y Gaspar, P. (2005). A state-space model to derive bluefin tuna movement and habitat from archival tags. *Oikos*, 109(3): 473-484
- Schneider, DC. (1994). Quantitative ecology: spatial and temporal scaling. , Academic Press ed. Elsevier, San Diego, California. ISBN: 0-08-092563-4
- Sims, DW., Wearmouth, VJ., Southall, EJ., Hill, JM., Moore, P., Rawlinson, K., Hutchinson, N., Budd, GC., Righton, D. y Metcalfe, JD. (2006). Hunt warm, rest cool: bioenergetic strategy underlying diel vertical migration of a benthic shark. *Journal of Animal Ecology*, 75(1): 176-190
- Smart, JJ., Chin, A., Baje, L., Tobin, AJ., Simpfendorfer, CA. y White, WT. (2017). Life history of the silvertip shark *Carcharhinus albimarginatus* from Papua New Guinea. *Coral Reefs*, 36(2): 577-588
- Stevens, J. (1984). Life-history and ecology of sharks at Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Proceedings of the Royal society of London Series B Biological sciences*, 222(1226): 79-106
- Stevens, JD., Bonfil, R., Dulvy, NK. y Walker, PA. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3): 476-494
- Tickler, DM., Carlisle, AB., Meeuwig, JJ., Chapple, TK., Curnick, DJ., Dale, JJ., Castleton, MJ., Schallert, RJ. y Block, BA. (2023). Pop-up archival tags reveal environmental influences on the vertical movements of silvertip sharks *Carcharhinus albimarginatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 717: 85-105
- Udyawer, V., Chin, A., Knip, DM., Simpfendorfer, CA. y Heupel, MR. (2013). Variable response of coastal sharks to severe tropical storms: environmental cues and changes in space use. *Marine Ecology Progress Series*, 480: 171-183
- UNESCO (2021). World heritage list. Disponible en: <https://whc.unesco.org/en/list/>. [consulta: 20 septiembre 2021]
- Vianna, GM., Meekan, MG., Meeuwig, JJ. y Speed, CW. (2013). Environmental influences on patterns of vertical movement and site fidelity of grey reef sharks (*Carcharhinus amblyrhynchos*) at aggregation sites. *PloS one*, 8(4): e60331

- White, W. (2007). Catch composition and reproductive biology of whaler sharks (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) caught by fisheries in Indonesia. *Journal of Fish Biology*, 71(5): 1512-1540
- Williamson, MJ., Tebbs, EJ., Dawson, TP., Curnick, DJ., Ferretti, F., Carlisle, AB., Chapple, TK., Schallert, RJ., Tickler, DM. y Harrison, XA. (2021). Analysing detection gaps in acoustic telemetry data to infer differential movement patterns in fish. *Ecology and Evolution*, 11(6): 2717-2730
- Wood, SN. (2017). Generalized additive models: an introduction with R. , 2nd Edition ed. CRC press, San Francisco, California. ISBN: 1-4987-2834-0
- Yamaguchi, A. y Taniuchi, T. (2000). Food variations and ontogenetic dietary shift of the star-spotted dogfish *Mustelus manazo* at five locations in Japan and Taiwan. *Fisheries Science*, 66(6): 1039-1048

11. ANEXOS

Anexo A.-Figura A1. Gráficos de detecciones individuales de los 22 tiburones punta plateada juveniles detectados en el Archipiélago de Revillagigedo.

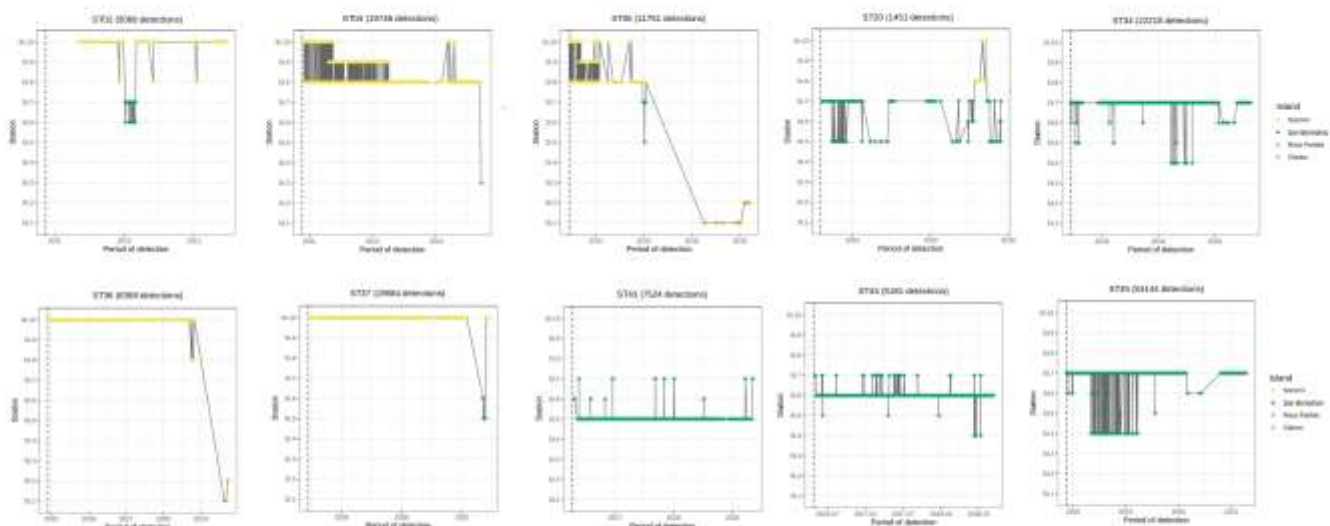
1. Juveniles



Anexo B.-Figura A2. Gráficos de detecciones individuales de los 10 tiburones punta plateada en transición de juvenil a adulto detectados en el Archipiélago de Revillagigedo.

Anexo C.-Figura A3. Gráficos de detecciones individuales de los 8 tiburones punta plateada adultos detectados en el Archipiélago de Revillagigedo.

## 2. In transition



## 3. Adults

